

ESTUDO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE REDES SIFÓNICAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS COM RECURSO À METODOLOGIA BIM

MANUEL CAMARINHA FREITAS CARNEIRO LEÃO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Engenheiro Manuel António Duarte Rodrigues

Julho 2025

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2024/2025

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2024/2025 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2025*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais e à minha família

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dias após dia”

Robert Collier

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar por expressar a minha sincera gratidão aos meus pais e ao meu avô, também ele engenheiro, pelo apoio, paciência e incentivo contínuo ao longo do meu desenvolvimento académico e pessoal.

Aos meus amigos, pela amizade, pelas pausas bem-vindas e por me ajudarem a manter a sanidade ao longo deste desafio – um grande obrigado.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Nuno Ramos, pela orientação, pela disponibilidade e pelas valiosas sugestões ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, Engenheiro Manuel Rodrigues, dirijo um especial agradecimento, não só pelo acompanhamento técnico, mas também pela forma como me acolheu, juntamente com toda a equipa da BIM Source, Lda, num ambiente de grande profissionalismo.

Por fim, gostaria também de agradecer à Engenheira Odete Coelho e ao Engenheiro José Rocha da empresa Geberit que aceitaram colaborar neste projeto fornecendo informação relevante e contribuindo de forma significativa para o enriquecimento desta dissertação.

RESUMO

A presente dissertação tem como principal motivação o estudo e análise de sistemas sifônicos de drenagem de águas pluviais onde, após uma fase inicial de trabalho que consistiu numa detalhada revisão bibliográfica, se constatou existir uma quantidade considerável de informação teórica sobre estes sistemas, mas ao mesmo tempo uma carência de informação disponível no que toca ao cálculo e dimensionamento dos mesmos.

O objetivo principal do trabalho foi desenvolver, em ambiente BIM, um procedimento de pré-dimensionamento de sistemas sifônicos de drenagem de águas. Através do Revit e as suas Schedules foi possível desenvolver uma ferramenta capaz de realizar o dimensionamento destes sistemas, tendo esta sido posteriormente aplicada a dois casos de estudo reais. Importa referir que, durante o trabalho no Revit, foi necessário realizar algumas configurações no que toca ao tipo de sistema utilizado e às famílias dos elementos integrantes da rede. E foi graças a essas configurações que se teve acesso a uma ferramenta do Revit chamada Duct/Pipe Sizing. Esta ferramenta representa um automatismo muito útil em ambiente Revit, pois permite realizar o pré-dimensionamento de toda a rede incluindo tubagens, fittings e acessórios, desde que o tipo de sistema esteja corretamente configurado.

De seguida, como forma de verificação e validação dos resultados obtidos, compararam-se os resultados obtidos com os resultados fornecidos por uma empresa especializada neste tipo de sistemas de drenagem. Apesar de algumas divergências nos resultados concluiu-se que o procedimento de cálculo desenvolvido tem utilidade como ferramenta de pré-dimensionamento, permitindo estimar valores aproximados dos reais numa fase inicial de projeto. A sua integração no Revit mostrou-se vantajosa, fornecendo dados úteis como os diâmetros das tubagens da rede, o número de ralos, e o espaço ocupado pela rede, informações essenciais para a compatibilização com a arquitetura e restantes especialidades.

Além disso, com base nos dados fornecidos pela empresa especializada, foi realizada uma comparação prática entre o sistema sifónico proposto e uma solução tradicional gravítica inicialmente prevista para o mesmo caso de estudo. Esta comparação permitiu avaliar as principais diferenças entre os dois tipos de sistemas e as vantagens e desvantagens dos sistemas sifónicos.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Revit Schedules, Sistemas Sifónicos, Ferramenta de cálculo.

ABSTRACT

The present thesis has as its main motivation the study and analysis of siphonic systems of rainwater drainage where, after an initial work phase which was based on a detailed review of scientific literature, a considerable amount of theoretical information about these systems was found. However, a lack of available information in what relates to the sizing of siphonic systems was also found.

The main aim of this work was to develop, in a Building Information Modeling (BIM) environment, a procedure of pre-sizing of siphonic systems of rainwater drainage. By using Revit and its Schedules it was possible to develop a tool which was able to carry out the sizing of these systems, having then been applied to two real study cases. It is important to mention that while working on Revit, it was necessary to do some configurations concerning the type of system used and the families of the integrated elements of the network. It was due to those configurations that we had access to a Revit tool called Duct/Pipe Sizing. This tool represents a very useful automation in Revit environment as it enables to carry out the pre-sizing of the whole network including pipes, fittings and accessories as long as the type of system is correctly configured.

Afterwards, as a way to verify and validate the findings, we compared them to the ones given by a company specialized in these drainage systems. Despite some discrepancies in the findings, it was concluded that the sizing procedure is useful as a pre-sizing tool, enabling it to estimate values close to real ones in an initial phase of the project. Its integration on Revit was shown to be beneficial, providing useful data such as the diameter of the pipes of the network, the number of drains, and the space occupied by the network, which was vital information for the compatibility with the architecture and remaining specialties.

Moreover, based on the data provided by the specialized company, a practical comparison between the proposed siphonic system and a gravity traditional solution was carried out, initially foreseen for the same study case. This comparison enabled to assess the main differences between the two types of systems and the advantages and disadvantages of the siphonic systems.

KEYWORDS: BIM, Revit Schedules, Siphonic Systems, Sizing tool.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA	2
2 ESTADO DA ARTE.....	5
2.1. INTRODUÇÃO AO SISTEMA SIFÓNICO	5
2.1.1. ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SISTEMA SIFÓNICO	6
2.1.1.1. Ralos	6
2.1.1.2. Tubagens	7
2.1.1.3. Sistema De Fixação	9
2.1.2. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	11
2.1.2.1. O Princípio De Funcionamento	11
2.1.2.2. Os 4 Regimes Em Que O Sistema Opera	12
2.2. DIMENSIONAMENTO E CONCEÇÃO DO SISTEMA SIFÓNICO	14
2.2.1. BASES PARA O DIMENSIONAMENTO	14
2.2.2. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SIFÓNICO	16
2.2.2.1. Validação Do Sistema	20
2.2.3. QUANTIDADE NECESSÁRIA E DISPOSIÇÃO DOS RALOS	22
2.2.4. LIGAÇÃO Á REDE PÚBLICA	22
2.3. PARTICULARIDADES DO SISTEMA SIFÓNICO	24
2.3.1. PENDENTES NULAS.....	24
2.3.2. UTILIZAÇÃO DE DIÂMETROS MAIS REDUZIDOS	24
2.4. SISTEMA TRADICIONAL VS SISTEMA SIFÓNICO	26
2.5. APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS ATRAVÉS DA DRENAGEM SIFÓNICA	29
2.6. METODOLOGIA BIM.....	30
2.6.1. GEBERIT, REVIT PLUG-IN AUTODESK	30
2.6.1.1. Famílias de Objetos	31
2.6.1.2. Geberit ProPlanner Software	34
2.7. LIMITAÇÕES DO SISTEMA PLUVIA DA GEBERIT	35
3 METODOLOGIA	36
3.1. ENQUADRAMENTO.....	36
3.2. APRESENTAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO	37

3.2.1. EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS.....	37
3.2.2. ARMAZÉM INDUSTRIAL	39
3.3. DIMENSIONAMENTO APOIADO EM FOLHA DE CÁLCULO	40
3.4. DIMENSIONAMENTO APOIADO EM MODELAÇÃO BIM.....	44
3.4.1. CONFIGURAÇÕES INICIAIS.....	44
3.4.2. INÍCIO DO TRABALHO NO REVIT	46
3.4.2.1. Configuração do Sistema	47
3.4.2.2. Configuração das Famílias Integrantes.....	48
3.4.2.3. Atribuição dos Dados Específicos do Projeto	50
3.4.2.4. Pré-Dimensionamento.....	51
3.4.2.5. Criação das Revit Schedules	51
3.4.3. EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS.....	55
3.4.4. ARMAZÉM INDUSTRIAL	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1. REDE PLUVIAL FINAL.....	63
4.1.1. SOLUÇÃO 1.....	64
4.1.2. SOLUÇÃO 2.....	66
4.1.3. VALIDAÇÃO DO CAMINHO CRÍTICO	68
4.2. GEBERIT PLUVIA	69
4.3. COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS.....	75
4.4. ANÁLISE ECONÓMICA	76
4.4.1. SISTEMA TRADICIONAL	76
4.4.2. SISTEMA SIFÓNICO.....	77
5 CONCLUSÃO.....	80
5.1. CONCLUSÕES.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes Componentes de um Ralo do Sistema Pluvia da Geberit, [9]	7
Figura 2: Sistema de Fixação da Geberit, [12]	9
Figura 3: Junta de Dilatação - Tubagem Vertical, [12]	10
Figura 4: Braço de Deflexão, [12]	10
Figura 5: Princípio de sifão, [4]	11
Figura 6: 1ª Fase ou "Gravity Flow", [3]	12
Figura 7: 2ª Fase ou "Plug Flow", [3]	12
Figura 8: 3ª Fase ou "Bubble Flow", [3]	13
Figura 9: 4ª Fase ou "Full Flow", [3]	13
Figura 10: Sistema sifônico de emergência, [15]	14
Figura 11: Regiões Pluviométricas Portugal A B e C,	15
Figura 12: Teorema de Bernoulli aplicado ao escoamento de fluidos,	17
Figura 13: Diagrama da Variação de Pressão ao Longo da Tubagem	21
Figura 14: Perda de Carga Localizada, curva 90°	21
Figura 15: Ligação do Sistema Sifônico à câmara de descompressão, [12]	23
Figura 16: Aumento do diâmetro antes da laje de pavimento, [12]	23
Figura 17: Aumento do diâmetro depois da laje de pavimento, [12]	23
Figura 18: Tubo revestido com uma manga de desacoplamento, [12]	26
Figura 19: Custo Total versus área da cobertura, [21]	28
Figura 20: Família Revit Ralo da Geberit	31
Figura 21: Propriedades das Famílias, ralo	32
Figura 22: Propriedades do Conetor da família	32
Figura 23: Família Geberit	33
Figura 24: Família BIM Source, Lda	34
Figura 25: Fluxograma	36
Figura 26: 1º Caso de Estudo, Vista 3D Revit	37
Figura 27: Rede Gravítica, parte superior	38
Figura 28: Rede gravítica, parte inferior	38
Figura 29: 2º Caso de Estudo, Vista 3D Revit	39
Figura 30: Rede de Drenagem Gravítica	39
Figura 31: Folha de Cálculo para Dimensionamento de Rede Sifônica, Excel	40
Figura 32: Parâmetros iniciais, Excel	41

Figura 33: Designação dos nós e cálculo do caudal, Excel.....	41
Figura 34: Pré-dimensionamento, Excel.....	42
Figura 35: Cálculo da Perda de Carga, Excel.....	43
Figura 36: Cálculo da variação de pressão ao longo do troço, Excel.....	44
Figura 37: Unidade de Projeto "Common", Revit.....	45
Figura 38: Unidades de Projeto "Piping", Revit.....	45
Figura 39: Mechanical Settings - Pressure Drop	46
Figura 40: Fluxograma - Processo de dimensionamento no Revit	46
Figura 41: System Sanitary - Calculations	47
Figura 42: System Domestic Cold Water – Calculations	48
Figura 43: Configuração da Família dos Ralos.....	49
Figura 44: Rugosidade.....	49
Figura 45: Determinação da Área de Influência de cada ralo.....	50
Figura 46: Propriedades do Ralo	50
Figura 47: Duct/Pipe Sizing.....	51
Figura 48: Nova Schedule	52
Figura 49: Escolha de Parâmetros para Schedules	52
Figura 50: Inserção de Fórmulas nas Revit Schedules	53
Figura 51: Filtros das Schedules	54
Figura 52: Sorting/Grouping.....	55
Figura 53: Parte superior da Rede de Drenagem.....	56
Figura 54: Parte inferior da Rede de Drenagem.....	56
Figura 55: Filtragem pelo caminho crítico.....	59
Figura 56: Momento Crítico superior.....	59
Figura 57: Momento Crítico Inferior	60
Figura 58: Importação dos Padrões do Projeto Inicial	61
Figura 59: Solução 1	63
Figura 60: Solução 2.....	63
Figura 61: Configuração 1	64
Figura 62: Configuração 2	64
Figura 63: Parte inicial da solução 2.....	66
Figura 64: Parte final solução 2	66
Figura 65: Isométrica configuração 1, Geberit.....	70

Figura 66: Isométrica Solução 2, Geberit (início da rede)	72
Figura 67: Isométrica Solução 2, Geberit (fim da rede).....	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores comparativos dos materiais PEAD, PVC e Ferro Fundido	7
Tabela 2: Comparação da dilatação térmica para uma peça de 15m e variação de 20°, PEAD, PVC e Ferro Fundido	9
Tabela 3: Valores para os Parâmetros a e b, de acordo com a região e período de retorno,	16
Tabela 4: Valores para o Coeficiente de escoamento para diferentes tipos de terreno	16
Tabela 5: Valores de Rugosidade k para alguns materiais.	18
Tabela 6: Coeficientes de Perda Localizada [18]	19
Tabela 7: Capacidade de Transporte - Tubos de Queda	25
Tabela 8: Capacidade de Transporte tubagem horizontal com grau de enchimento de 50%, [20]	25
Tabela 9: Capacidade de transporte, tubagem horizontal com grau de enchimento de 70%, [20]	26
Tabela 10: Resultados Comparativos do Estudo, [21]	27
Tabela 11: Valores Comparativos, [21]	27
Tabela 12: Áreas mínimas para se atingir um caudal de 12L/s, [9]	29
Tabela 13: Cálculo rede gravítica	40
Tabela 14: Pré-Dimensionamento - Troços Horizontais	57
Tabela 15: Pré-Dimensionamento - Troços Verticais	57
Tabela 16: Cálculo da Perda de Carga e Variação de pressão - Troços Horizontais	58
Tabela 17: Cálculo da Perda de Carga e Variação da Pressão - Troços Verticais	58
Tabela 18: Análise do Primeiro Momento Crítico	60
Tabela 19: Análise do Segundo Momento Crítico	60
Tabela 20: Dimensionamento configuração 1	65
Tabela 21: Dimensionamento Configuração 2	65
Tabela 22: Dimensionamento solução 2	67
Tabela 23: Caminho Crítico, Configuração 1	68
Tabela 24: Caminho Crítico, Configuração 2	68
Tabela 25: Caminho Crítico, Solução 2	69
Tabela 26: Dimensionamento Geberit solução 1	71
Tabela 27: Dimensionamento Geberit, Solução 2	73
Tabela 28: Comparação de Resultados	75
Tabela 29: Orçamento Rede Gravítica	77
Tabela 30: Orçamento Solução 1, sifônica	78
Tabela 31: Orçamento solução 2, sifônica	78

SIMBOLOGIA

mm – Milímetros

mm²- Milímetros quadrados

m/s – Metros por segundo

m²- Metros quadrados

m – Metros

mbar – Milibar

m.c.a. – Metros Por Coluna de Água

L/s – Litros por segundo

Pa – Pascals

Pa/s – Pascals por segundo

N/m³ – Newton por metro cúbico

mm/h – Milímetros por hora

Kg/m³- Quilogramas por metro cúbico

m³/s – Metros cúbicos por segundo

R (\$) – Reais, Moeda Brasileira

SIGLAS USADAS

3D - Três Dimensões

BIM - Building Information Modeling

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

EN – European Norm

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

BS – British Standard

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PVC – Policloreto de Vinilo

PP – Polipropileno Insonorizado

HVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado

CAD – Computer Aided Design

DN – Diâmetro Nominal

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O setor da engenharia civil divide-se em vários domínios, entre eles estão as redes de drenagem de águas pluviais. Praticamente todas as construções têm contacto direto com a água da chuva, e é importante que esta seja guiada até zonas de descarga previamente definidas, caso contrário podem dar origem a cheias, infiltrações e desgaste dos edifícios e infraestruturas.

Na engenharia, é comum existirem várias soluções técnicas para um mesmo problema, sendo a drenagem de águas pluviais um bom exemplo disso. Neste contexto, destacam-se duas abordagens: o sistema tradicional, baseado no escoamento gravítico e o sistema sifónico, que funciona sob pressão. Enquanto o sistema tradicional depende da ação da gravidade para que haja escoamento, o sistema sifónico depende de um efeito de sucção provocado pela existência de uma pressão negativa.

O sistema sifónico já existe há várias décadas e está acompanhado de muita informação teórica sobre o seu funcionamento. O funcionamento baseia-se em princípios hidráulicos amplamente conhecidos, o escoamento dá-se a secção cheia e a força responsável, pelo escoamento, é a diferença de pressão gerada pela diferença de cotas entre os ralos da cobertura e o ponto de descarga [1].

Quanto aos elementos integrantes das redes sifónicas como: ralos, tubagens, acessórios e sistemas de fixação, as empresas (Geberit [2], Valsir [3] e Staint Gobain [4], entre outras) que fabricam este tipo de sistemas partilham, em catálogos e manuais de instalação as descrições detalhadas das características de cada elemento, bem como o modo funcionamento dos seus sistemas.

Em termos normativos, a norma europeia EN 12056-3 [5] no ponto 6.2, menciona alguns aspetos sobre o sistema sifónico como: o diâmetro mínimo das tubagens, o facto de serem admissíveis reduções de diâmetro no sentido do escoamento, entre outros.

Contudo, o dimensionamento de redes sifónicas é realizado com recurso a softwares específicos e privados das empresas que fabricam este tipo de sistema [6]. Estes softwares aplicam o teorema de Bernoulli pelos diferentes pontos da rede e são afetados por coeficientes de segurança das próprias empresas que se responsabilizam pelo dimensionamento das suas redes e pelo bom funcionamento dos seus sistemas.

A presente dissertação foi desenvolvida em ambiente empresarial na empresa BIM Source, Lda. Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, tivemos a oportunidade de estabelecer contacto com uma empresa especializada em sistemas sifónicos (Geberit), onde esta empresa, posteriormente aceitou colaborar no desenvolvimento desta dissertação. Esta colaboração permitiu obter uma perspetiva mais prática sobre a aplicação destes sistemas, bem como aceder a dados reais de dimensionamento obtidos

por ferramentas de dimensionamento exclusivas do fabricante. Os dados fornecidos pela empresa serviram de base de comparação e validação dos resultados obtidos pelo autor.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Os principais objetivos do presente trabalho são:

- Modelação em Revit de uma rede de drenagem de águas pluviais
- Desenvolvimento de ferramentas de cálculo capaz de dimensionar este tipo de sistema
- Realização de uma análise comparativa entre o sistema tradicional e o sistema sifónico com base num caso de estudo

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos distintos subordinados às seguintes temáticas:

- O Capítulo 1 tem como finalidade enquadrar o tema em estudo, apresentando a sua relevância no contexto da engenharia, e definir os principais objetivos do trabalho desenvolvido.
- No Capítulo 2 encontra-se o enquadramento teórico essencial ao desenvolvimento do trabalho. Começando por uma introdução aos sistemas sifónicos de drenagem de águas pluviais, onde é apresentada a definição de sistema sifónico, uma breve contextualização histórica, os seus principais constituintes e o seu funcionamento. Segue-se uma análise dos métodos de dimensionamentos e conceção deste tipo de sistema, bem como as suas particularidades em relação ao sistema tradicional. É também apresentado um estudo onde se realizou uma comparação prática entre o sistema de drenagem tradicional e o sistema sifónico, realçando as diferenças técnicas e funcionais entre ambos para um caso de estudo em específico. Por fim, o capítulo aborda o papel do BIM no contexto da modelação e cálculo destas redes hidráulicas, centrando-se na utilização de famílias Revit e nas ferramentas disponibilizadas por empresas especializadas.
- No Capítulo 3 são apresentados os dois casos de estudo tidos em consideração para a conceção deste trabalho, nos quais foram modeladas redes sifónicas de drenagem de águas pluviais. Posteriormente, são explicadas as duas abordagens distintas de dimensionamento consideradas: uma baseada numa folha de cálculo Excel desenvolvida especificamente para este fim e outra suportada na modelação BIM através do software Autodesk Revit. Nesta última, são detalhadas as configurações iniciais necessárias, incluindo as formatações das famílias e dos sistemas de tubagens, a atribuição de dados específicos e a criação das Revit Schedules.
- O Capítulo 4 começa por apresentar as soluções finais para o segundo caso de estudo, no qual foram desenvolvidas e dimensionadas duas soluções distintas de drenagem sifónica. De seguida para as duas soluções são apresentados os resultados fornecidos por uma empresa especializada, o que permitiu realizar uma comparação prática entre os resultados obtidos e os resultados fornecidos pela empresa. Adicionalmente, e tendo em conta que o segundo caso de estudo, originalmente dispunha de uma rede de drenagem gravítica, procedeu-se a uma comparação direta entre esta rede tradicional e as soluções sifónicas. Por fim, é apresentada uma análise económica baseada nos orçamentos elaborados, quer para a rede tradicional, quer para as soluções sifónicas, de modo a avaliar a viabilidade financeira das diferentes alternativas.

- No Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho. Reflete-se sobre a aplicabilidade da metodologia adotada, as vantagens da utilização de sistemas sifônicos em ambiente BIM e as potencialidades das ferramentas criadas no apoio ao pré-dimensionamento.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO AO SISTEMA SIFÓNICO

O sistema sifónico, também designado por sistema pressurizado ou sob pressão, é um sistema projetado para drenar águas pluviais através de tubagens que funcionam a secção cheia, ao contrário do sistema tradicional. O princípio de funcionamento do sistema foi desenvolvido pela primeira vez por um engenheiro finlandês chamado Olavi Ebeling no final dos anos 60. A sua primeira instalação comercial ocorreu numa fábrica de turbinas na Suécia tendo sido realizada pelo engenheiro Per Sommerhien [7], fundador da empresa UV-System. A sua tecnologia propagou-se de forma acelerada pelo resto da Europa. Chegou ao Reino Unido em 1980 [8], graças à Geberit e à Sapolite que foram as empresas pioneiras na implementação deste sistema. As primeiras referências a este sistema conhecidas em Portugal tardaram um pouco mais, datam do ano de 1996 [9].

Atualmente, o sistema sifónico encontra-se enunciado na EN 12056-3 [5], a par com o sistema tradicional, embora este último usufrua de uma regulação bem mais densificada neste instrumento normativo.

O cálculo de redes sifónicas é baseado em princípios bem conhecidos da hidráulica, algo que será explicado com mais detalhe no ponto 2.2.2. No entanto, a questão é que, apesar da drenagem sifónica existir há décadas, os seus cálculos não se encontram regulamentados em documento de acesso público. Isto deve-se, principalmente, ao facto de a indústria deste setor ser altamente competitiva na Europa. O que leva a que, todas as empresas contem com os seus próprios métodos de cálculo e com os seus próprios sistemas, protegidos por patente. Normalmente o que acontece é que as empresas assumem a responsabilidade pelo dimensionamento e funcionamento do seu sistema desde que sejam utilizados os seus componentes e os seus métodos de cálculo. Esta abordagem garante segurança e eficiência, mas limita o acesso público aos detalhes do processo, justificando assim a escassez de documentação técnica [10].

Os sistemas sifónicos distinguem-se essencialmente por dois fatores:

- A utilização de ralos anti-vórtice, cuja função é evitar a formação de vórtices e, consequentemente, a entrada de ar no sistema, permitindo o escoamento das águas sob pressão [3].
- O recurso a materiais e acessórios diferenciados adaptados ao modo de funcionamento específico do sistema sob pressão.

Para que ocorra escoamento sifônico é essencial garantir a ausência de ar no interior das tubagens, uma vez que é essa condição que permite a formação de uma pressão negativa responsável pelo efeito de sucção que o caracteriza. Essa ausência de ar nas tubagens e a consequente pressão negativa dão origem a velocidades de escoamento superiores, o que possibilita a utilização de tubagens com menores diâmetros e o desenho de traçados mais eficientes. O sistema sifônico é mais indicado para edifícios cuja cobertura esteja localizada a uma cota elevada, pois quanto maior for a diferença de altura entre os pontos de entrada de caudal, os ralos, e o ponto de descarga maior será a sua eficácia, algo que será explicado em mais detalhe no ponto 2.1.2.1. Este sistema pode ser utilizado independentemente do tipo de cobertura, plana ou inclinada, a diferença é que numa cobertura plana os ralos são instalados na própria cobertura e numa cobertura inclinada os ralos são instalados em calhas que funcionam como se fossem caleiras [9].

2.1.1. ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SISTEMA SIFÓNICO

Atualmente ao nível global, existem várias soluções comerciais para sistemas de drenagem sifônica, entre elas destacam-se o EPAMS da Saint-Gobain [4], o Rainplus da Valsir [3] e o UV System da Sapoflow [11]. Em Portugal, o mais conhecido será o sistema Pluvia da Geberit [12]. Porém, a presença de vários fabricantes no mercado não impede que as suas soluções comerciais obedeçam ao mesmo princípio de funcionamento, ou seja, as diversas soluções existentes no mercado são, na sua essência, similares.

O sistema sifônico é constituído essencialmente por três elementos-chave, sendo eles:

- Ralos
- Tubagens
- Sistemas de fixação

2.1.1.1. Ralos

Os ralos, talvez a componente mais importante de todo o sistema, são escolhidos com base no índice de pluviosidade registado no local onde o sistema vai ser instalado. Tratando-se de um índice altamente variável, os fabricantes desenvolveram vários tipos de ralos para poderem responder aos diferentes caudais pluviométricos.

A composição dos ralos divide-se em 3 partes, tal como ilustrado na Figura 1:

- A parte superior corresponde à zona de entrada de caudal, sendo responsável pela admissão inicial das águas pluviais. Esta secção conta com uma grelha lateral que envolve todo o perímetro do ralo, cuja principal função é impedir a entrada de detritos sólidos ou outras matérias indesejáveis que possam comprometer o bom funcionamento do sistema. Além disso, a parte superior dispõe de pequenas aberturas ou fendas que permitem a entrada de uma fração reduzida do caudal. Estas aberturas revelam-se especialmente úteis quando a grelha lateral se encontra obstruída, pois garantem a continuidade do escoamento. Assim, esta zona superior assume uma dupla funcionalidade: possibilita a admissão controlada de água no interior do sistema e ao mesmo tempo evita a penetração de materiais que poderiam obstruir as tubagens.
- A parte intermédia corresponde à placa de montagem, um elemento integrado na laje que estabelece a ligação entre o ralo e a tubagem. Esta secção é responsável pela fixação do componente ao suporte e pela continuidade estrutural do sistema. É também nesta zona que se insere uma tela impermeabilizante, cuja função é evitar infiltrações indesejadas para o interior

da laje. Idealmente, esta tela deve ter dimensões superiores às do ralo, assegurando uma vedação eficaz e prolongando a durabilidade da instalação.

- A parte inferior corresponde ao segmento que estabelece a ligação entre o ralo e o ramal de descarga, sendo responsável por conduzir as águas para o interior da rede de drenagem. Esta secção pode ser entendida como o ponto mais a montante da tubagem, marcando o início do escoamento do sistema.

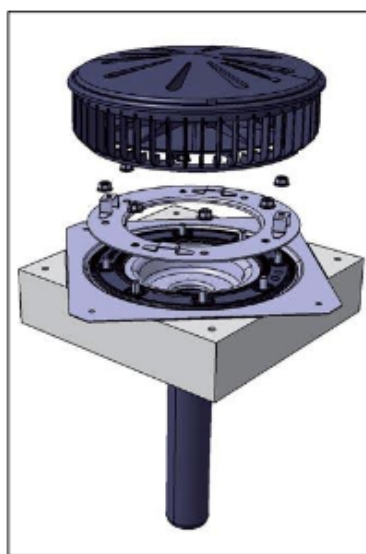


Figura 1: Diferentes Componentes de um Ralo do Sistema Pluvia da Geberit, [9]

2.1.1.2. Tubagens

Uma vez que o sistema sifónico funciona sob pressão é necessário recorrer a tubos constituídos por materiais resistentes e duradouros como o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) ou ferro fundido. Por isso, a utilização de PVC, material menos resistente e vulgarmente utilizado no sistema tradicional, revela-se impróprio para suportar a pressão característica do sistema sifónico provocada pelas forças de sucção responsáveis pelo escoamento das águas dentro da tubagem. A empresa suíça, Geberit emprega o PEAD enquanto que a empresa francesa Sain-Gobain utiliza ferro fundido. Na Tabela 1 estão representados valores de comparação entre esses mesmos materiais e o PVC [9].

Tabela 1: Valores comparativos dos materiais PEAD, PVC e Ferro Fundido

Índice	Material		
	PEAD	PVC	Ferro Fundido
Módulo de Young [Mpa]	1000	3275	155000
Tensão de rotura [Mpa]	26,0	48,3	522,5
Força de Impacto [J/cm]	5,59	0,61	>10
Índice de desgaste volumétrico	86	140	
Coefficiente de dilatação térmica linear [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	120	65	12
Calor Específico [J/Kg.C]	2250	1005	500
Temperatura de Fusão [$^{\circ}\text{C}$]	121	180	1200

Densidade [Kg/m ³]	953	1450	7250
--------------------------------	-----	------	------

A análise das propriedades do PEAD, PVC e Ferro Fundido, espelhada na Tabela 1 permite compreender de que forma estes materiais influenciam o desempenho dos sistemas de drenagem de águas pluviais, tanto o tradicional (por gravidade) como o sifônico (sob pressão).

O ferro fundido, com o seu elevado módulo de Young e tensão de rotura, demonstra ser altamente resistente e pouco deformável, o que são características fundamentais para sistemas sujeitos a cargas elevadas ou enterrados em profundidade. A sua alta resistência ao impacto também o torna adequado para zonas expostas a solicitações mecânicas. Contudo, a alta densidade e o baixo coeficiente de dilatação térmica implicam uma instalação mais exigente.

O PVC apresenta uma combinação equilibrada de propriedades, com uma boa resistência mecânica e rigidez, sendo muito utilizado em sistemas de drenagem gravíticos convencionais, sobretudo em edifícios e redes interiores. Porém, a sua fraca resistência ao impacto limita a sua aplicação em situações onde possam ocorrer choques ou variações bruscas de carga. Apesar disso, o PVC oferece uma temperatura de fusão relativamente elevada, boa resistência química e uma baixa densidade, o que facilita a instalação e o manuseamento.

Por seu turno, o PEAD, com a menor densidade e elevada resistência ao impacto, é especialmente vantajoso em sistemas sifônicos de drenagem pluvial, onde a tubagem está sujeita a regimes de pressão e variações bruscas de caudal. O PEAD tolera deformações sem fraturar e adapta-se bem aos movimentos térmicos e estruturais, graças ao seu elevado coeficiente de dilatação térmica. Apesar da sua baixa rigidez, esta flexibilidade é benéfica em sistemas sifônicos, pois contribui para absorver picos de pressão e vibrações hidráulicas. Além disso, a sua temperatura de fusão e a boa resistência ao desgaste volumétrico tornam-no durável em redes sujeitas a uso intensivo.

A exposição a variações térmicas é um fator que merece especial atenção quando se seleciona o material para redes hidráulicas, sobretudo quando as tubagens são instaladas no exterior dos edifícios, o que é uma prática comum. Nestes casos os materiais ficam expostos a variações térmicas acentuadas, o que pode afetar o seu desempenho e a integridade do sistema ao longo do tempo.

Com efeito, fruto da exposição a estas variações, as mudanças de comprimento da tubagem, ainda que ligeiras, podem criar tensões nas ligações, uniões ou pontos de ancoragem, comprometendo a estanquidade ou durabilidade do sistema. Por este motivo, é recomendável avaliar previamente a variação dimensional induzida pela temperatura, utilizando a equação (1):

$$\Delta L = \alpha \cdot L \Delta t \quad (1)$$

Em que:

ΔL = variação de comprimento em metros

α = coeficiente de dilatação térmica em unidades por grau centígrado

L = comprimento da peça em estudo

Δt = variação de temperatura

Na Tabela 2 encontram-se as variações de comprimento se tivermos uma peça com 15 metros de comprimento expostos variação de temperatura de 20 graus:

Tabela 2: Comparação da dilatação térmica para uma peça de 15m e variação de 20°, PEAD, PVC e Ferro Fundido

Se a peça for de PEAD	$\Delta L = 120 \times 10^{-6} \times 15 \times 20$	= 0,036 m
Se a peça for de PVC	$\Delta L = 65 \times 10^{-6} \times 15 \times 20$	= 0,0195 m
Se a peça for de Ferro fundido	$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \times 15 \times 20$	= 0,0036 m

2.1.1.3. Sistema De Fixação

O sistema de fixação, representado na Figura 2, desempenha um papel de grande importância, pois a drenagem sifônica para além de funcionar sob pressão conta ainda com altas velocidades. As forças exercidas dentro das tubagens nos pontos críticos, como mudanças de direção e inclinação, são intensificadas pelo facto de o sistema operar em secção cheia.

As tubagens devem ser ancoradas ao teto e às paredes, exceto se estas estiverem enterradas. A fixação das tubagens de um sistema sifónico em PEAD é feita por uma estrutura metálica secundária, que ela própria está ligada ao teto e às paredes. O mesmo não acontece nos sistemas sifónicos em ferro fundido e nos sistemas de drenagem tradicionais que são feitas por abraçadeiras pregadas diretamente ao teto ou à parede. Tal como observamos anteriormente no ponto 2.1.1.2 uma tubagem de PEAD sofre uma maior dilatação por ação do calor do que uma tubagem de ferro fundido, logo a utilização de uma estrutura metálica secundária é fundamental pois esta acaba por funcionar como um carril onde são afixadas abraçadeiras que fazem com que os tubos possam deslizar ao longo das mesmas, maximizando a capacidade de absorver as dilatações e contrações da tubagem. Deste modo o sistema sifónico acaba por se comportar como um sistema isostático, pelo facto de se adaptar ao estado de deformação sem transmitir tensões para a estrutura de suporte. Para além disso o facto de a tubagem não estar ligada diretamente à parede contribui para que as vibrações provocadas pela drenagem pluvial não sejam transferidas para a estrutura. Importa ainda referir que por se tratar de uma estrutura secundária possibilita a pré-fabricação da mesma [13].

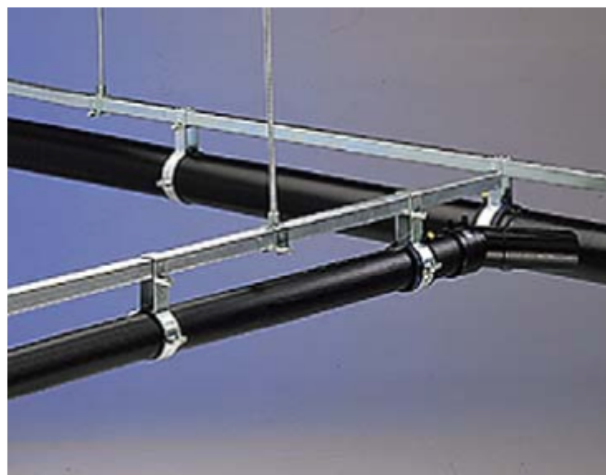


Figura 2: Sistema de Fixação da Geberit, [12]

No sistema sifónico com tubagens em ferro fundido, as dilatações são controladas através de juntas elásticas entre os próprios tubos, porém, no caso de o material selecionado ser o PEAD (sistema da

Geberit), essas deformações são controladas por juntas de dilatação na direção vertical e por braços de deflexão na direção horizontal [12], tal como se encontra demonstrado na Figura 3 e Figura 4.

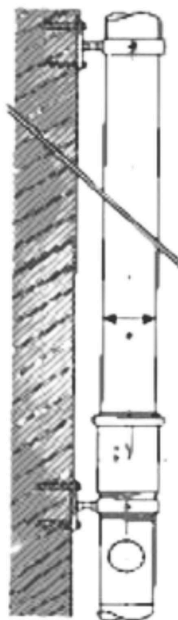


Figura 3: Junta de Dilatação - Tubagem Vertical, [12]

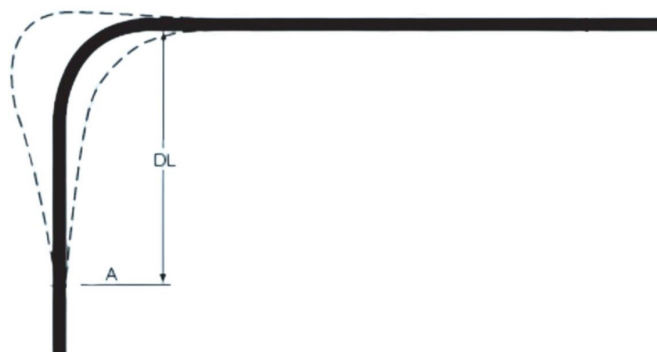


Figura 4: Braço de Deflexão, [12]

A determinação do comprimento do braço de deflexão, da Geberit, pode ser feita através da equação (2):

$$DL = 10 \times \sqrt{\Delta L \times D} \quad (2)$$

Em que:

DL = comprimento do braço de deflexão em mm;

ΔL = máxima variação dimensional devido à temperatura em mm;

D = diâmetro da tubagem em mm.

2.1.2. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

2.1.2.1. O Princípio De Funcionamento

O funcionamento dos sistemas sifônicos, representado na Figura 5, baseia-se num princípio físico muito difundido, o princípio de sifão. Um sifão é criado por um tubo ou outro tipo de conduta cheio com fluido a ser escoado, formando assim um percurso contínuo e fechado. Para que este fenómeno ocorra, a extremidade de descarga deve situar-se a um nível inferior ao da superfície do reservatório de origem, sendo a diferença de pressão atmosférica a responsável por impulsionar o fluido ao longo da tubagem até ao ponto mais baixo do percurso, ou seja, o ponto de descarga.

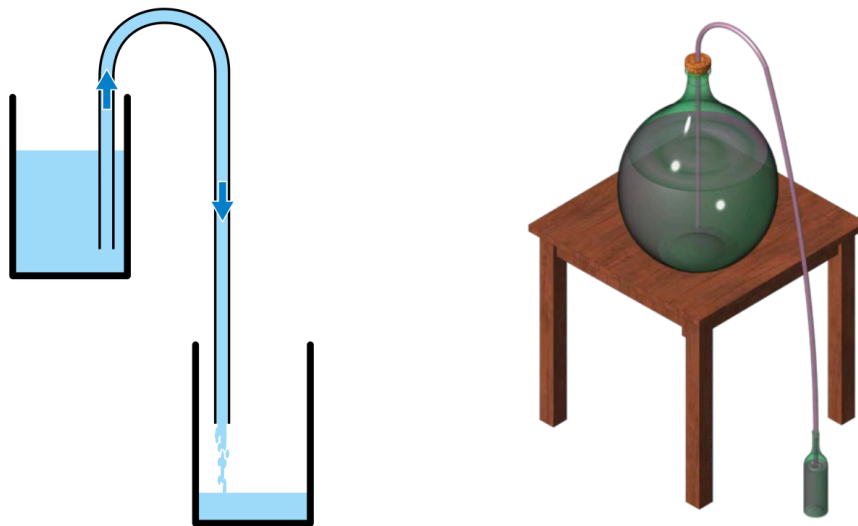


Figura 5: Princípio de sifão, [4]

Antigamente, este tipo de escoamentos estava associado a configurações em “U” invertido, utilizadas para extrair líquidos de reservatórios que não podem ser inclinados, como, por exemplo, os tanques de combustível utilizados nos automóveis. No entanto, na drenagem sifônica, a geometria da conduta não precisa de seguir essas configurações, a instalação horizontal e nivelada das tubagens é suficiente para garantir o funcionamento do sistema, desde que esteja garantida a ausência de ar no interior da tubagem. Esta ausência é garantida graças ao desenho específico dos ralos e à configuração das condutas [14].

Num sistema sifônico de drenagem pluvial, a pressão negativa acumulada nos “tail pipes”, (tubagem que liga os ralos ao tubo horizontal), desempenha um papel fundamental na movimentação do escoamento. Para que o sistema funcione corretamente e o escoamento se estabeleça em regime de pressão ao longo da conduta horizontal, esta pressão a montante tem de ser superior às perdas de carga distribuídas ao longo do percurso da tubagem até ao tubo de queda. Caso contrário, se a energia disponível (na forma de pressão) não for suficiente para vencer as resistências hidráulicas da tubagem, o escoamento não se inicia ou interrompe-se, inviabilizando o funcionamento do regime sifônico. Assim, o equilíbrio entre a pressão disponível e as perdas de carga é essencial para garantir a ativação e continuidade do escoamento sob pressão.

2.1.2.2. Os 4 Regimes Em Que O Sistema Opera

Tal como já referido, a drenagem de águas pluviais, neste sistema, dá-se por diferenças de pressões e não por ação da gravidade. No entanto, para que tal aconteça é necessário que se atinja uma certa solicitação do sistema, esta solicitação depende da intensidade de precipitação que é algo variável e insuscetível de controlo. Assim sendo, podemos assumir que este sistema opera em 4 regimes diferentes, determinados pelo volume de precipitação a escoar em função do caudal para o qual a rede foi projetada, [3]:

- 1ª fase ou “Gravity Flow”, (Figura 6) – acontece quando o caudal escoado é cerca de 10 a 15% do caudal para o qual a rede foi projetada. Neste caso o sistema comporta-se como se fosse um sistema tradicional, isto é, o escoamento dá-se por ação da gravidade.

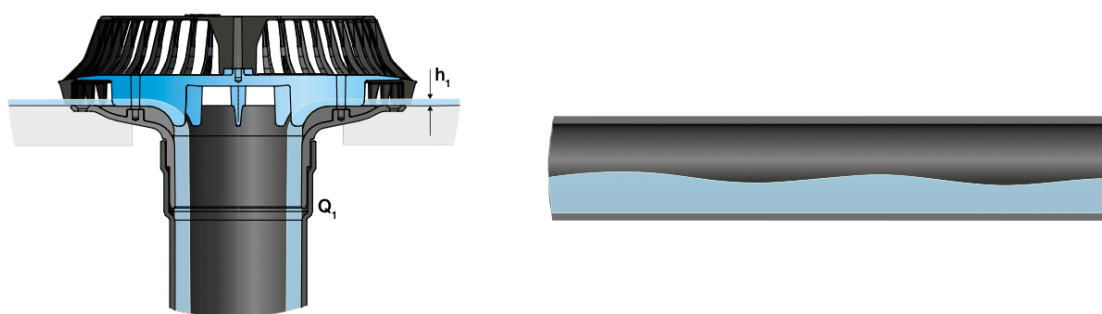


Figura 6: 1ª Fase ou "Gravity Flow", [3]

- 2ª fase ou “Plug Flow”, (Figura 7) – acontece quando o caudal escoado está entre os 15 e os 60% do caudal para o qual a rede foi projetada. Neste caso o sistema funciona tanto por gravidade como sob pressão. Isto deve-se ao facto de o sistema gravítico ter uma menor capacidade de escoamento, logo a água vai acumulando na cobertura, consequentemente a lamina de água no ralo aumenta e atinge-se o efeito sifónico, ou seja, funciona por picos.

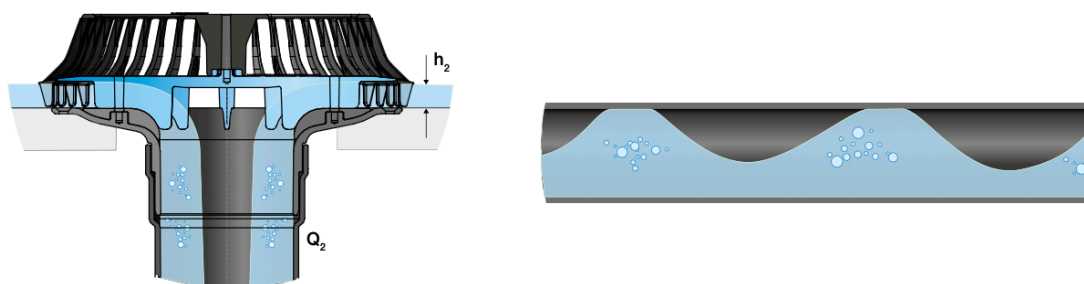


Figura 7: 2ª Fase ou "Plug Flow", [3]

- 3ª fase ou “Bubble Flow”, (Figura 8) – acontece quando o caudal escoado está entre os 60 e os 95% do caudal de projeto. Nesta fase a altura de água na cobertura encontra-se quase no seu limite, fazendo com que o sistema funcione puramente como um sistema sifónico. Ainda assim são esperadas algumas “bolhas de ar” no interior da tubagem.

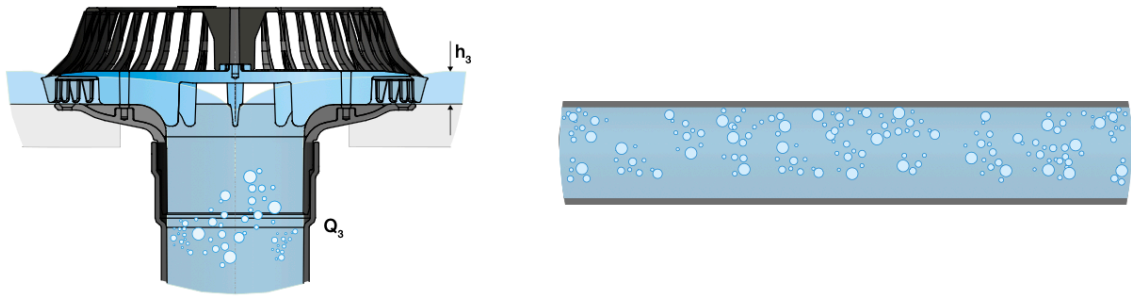


Figura 8: 3ª Fase ou "Bubble Flow", [3]

- 4ª fase ou “full flow”, (Figura 9) – tal como o nome indica nesta fase o caudal escoado é igual ao caudal de projeto ou está muito perto de o atingir. Nesta fase a lamina de água na cobertura já atingiu o seu limite e já não existe ar nenhum dentro da tubagem.

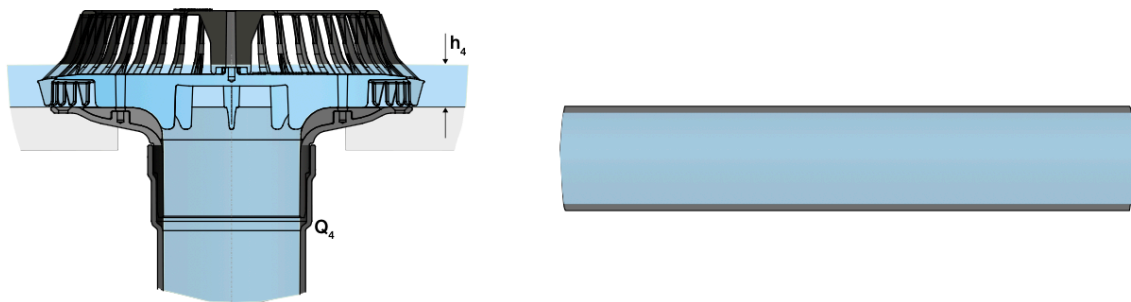


Figura 9: 4ª Fase ou "Full Flow", [3]

Em situações de níveis de pluviosidade intensos e duradouros, que deem origem a um caudal superior ao caudal esperado de projeto e onde o sistema principal não consiga escoar toda a água da chuva, são utilizados sistemas de drenagem secundários. Estes são muito semelhantes ao sistema principal, diferindo apenas na altura da entrada de água nos ralos que é superior ao nível da entrada de água do sistema principal. Deste modo, garante-se que o sistema secundário, de emergência, só entra em funcionamento em situações excecionais [8]. Este sistema deve ser completamente independente e não deve terminar no mesmo ponto que o sistema principal, tal como se encontra representado na Figura 10 [15]. A Figura 10 representa também a coexistência dos dois sistemas.

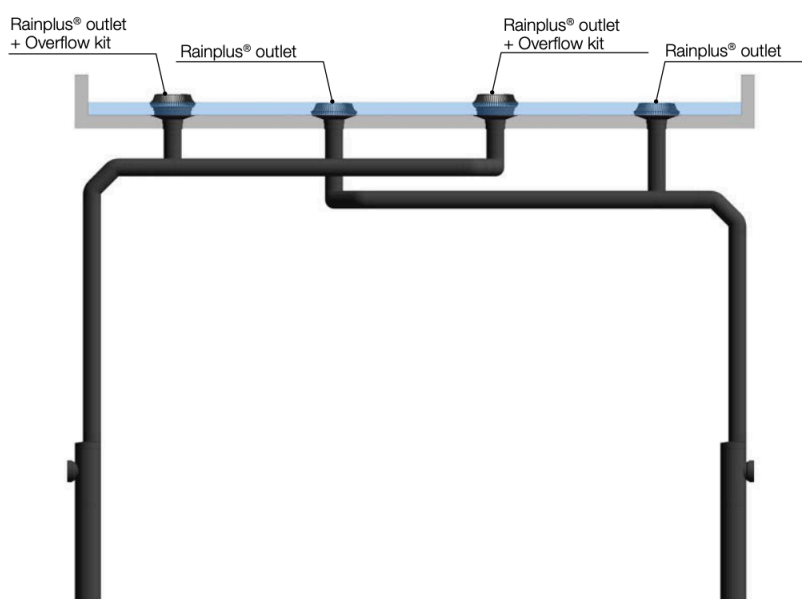


Figura 10: Sistema sifônico de emergência, [15]

2.2. DIMENSIONAMENTO E CONCEÇÃO DO SISTEMA SIFÔNICO

2.2.1. BASES PARA O DIMENSIONAMENTO

Para que se possa dar início ao dimensionamento de uma rede sifônica, é necessário reunir os seguintes dados: intensidade de precipitação prevista, coeficiente de escoamento associado às superfícies a drenar e a respetiva área de influência. É importante referir que os valores destes parâmetros dependem das particularidades de cada projeto, como a sua localização geográfica, tipo de material da cobertura e dimensões da própria cobertura.

A intensidade de precipitação é inversamente proporcional à duração da chuvada, ou seja, quando a chuvada é longa a sua intensidade é baixa e vice-versa. O mesmo é dizer que, a intensidade de precipitação depende da duração da chuvada e do seu período de retorno, o qual é o intervalo de tempo médio em que um determinado evento é superado ou igualado.

A equação (3) mostra como é calculada a intensidade de precipitação, de acordo com o disposto no Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, publicado pelo Decreto Regulamentar nº. 23/95, de 23 de agosto [16]:

$$I = at^b \quad (3)$$

Em que:

I = intensidade média máxima de precipitação em mm/h

a, b = parâmetros que dependem da região e do período de retorno

t = duração da chuvada em minutos

Normalmente, o período de retorno a considerar tem a duração de 5 ou 10 anos, porém, existem situações em que é possível contar com 1,2,20 ou 25 anos como período de retorno

Para o dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais considera-se um tempo de concentração da chuvada de 5 a 15 minutos [17].

Portugal encontra-se dividido em três regiões pluviométricas, A, B e C, consoante a região, período de retorno e tempo de concentração da chuvada, segundo o Decreto Regulamentar 23/95 Anexo IX [16].

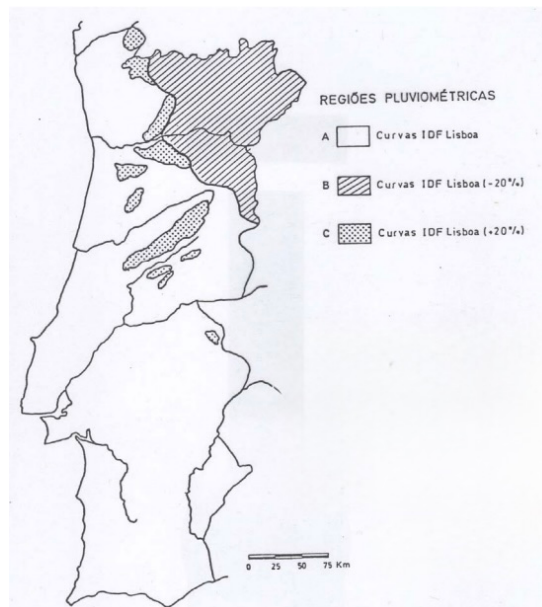


Figura 11: Regiões Pluviométricas Portugal A B e C,

Região A – inclui as áreas não referidas em B e C;

Região B – compreende os concelhos de Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Boticas, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Chaves, Figueira de Castelo Rodrigo, Freixo de Espada À Cinta, Macedo de Cavaleiros, Meda, Mirando do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Murça, Penedono, Pinhel, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vila Nova de Foz Côa, Vila Real, Vimioso e Vinhais;

Região C – compreende os concelhos das Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, os seguintes concelhos do continente: Guarda, Manteigas, Moimenta da Beira, Sabugal e Tarouca e as áreas situadas a uma altitude superior a 700 metros dos concelhos de Aguiar da Beira, Amarante, Arcos de Valdevez, Arganil, Arouca, Castanheira de Pera, Castro Daire, Celorico da Beira, Cinfães, Covilhã, Fundão, Góis, Gouveia, Lamego, Marvão, Melgaço, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Ponte da Barca, Resende, Seia, S. Pedro do Sul, Terras do Bouro, Tondela, Vale de Cambra, Vila Nova de Paiva e Vouzela.

Para as diferentes regiões pluviométricas A, B e C temos diferentes valores dos parâmetros a e b (a e b são adimensionais), representados na Tabela 3. Os valores presentes na Tabela 3 foram retirados do manual de instalações prediais.

Tabela 3: Valores para os Parâmetros a e b, de acordo com a região e período de retorno,

Período de Retorno (anos)	Regiões Pluviométricas					
	A		B		C	
	a	b	a	b	a	B
5	259,26	-0,562	207,41	-0,562	311,11	-0,562
10	290,68	-0,549	232,21	-0,549	348,82	-0,549
20	317,74	-0,538	254,19	-0,538	381,29	-0,538
50	349,54	-0,524	279,63	-0,524	419,45	-0,524
100	365,62	-0,508	292,50	-0,508	438,75	-0,508

Após o cálculo da intensidade de precipitação, podemos proceder ao cálculo do caudal segundo o Decreto de Lei 23/95 [16], através da equação (4):

$$Q = CIA \quad (4)$$

Em que:

Q = caudal em m^3/s ;

C = coeficiente de escoamento;

I = intensidade de precipitação em mm/h

A = área a ser drenada em m^2

O coeficiente de escoamento é igual a 1 quando se trata de áreas impermeáveis. Porém, quando se trata de áreas permeáveis, o coeficiente de escoamento depende do tipo de terreno e da sua inclinação. Na Tabela 4 constam alguns valores do coeficiente de escoamento para diferentes tipos de terreno, os quais foram retirados do Manual de Instalações Prediais.

Tabela 4: Valores para o Coeficiente de escoamento para diferentes tipos de terreno

Tipo de terreno	Coeficientes de escoamento			
	Inclinação do terreno (%)			
	0 a 1	1 a 1,5	1,5 a 8	> 8
Arenoso	0,13	0,22	0,31	0,49
Semi-arenoso	0,22	0,31	0,40	0,58
Semi-compacto	0,31	0,40	0,49	0,70
Compacto	0,40	0,49	0,58	0,82

2.2.2. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SIFÓNICO

O dimensionamento deste sistema baseia-se no “Princípio de Bernoulli”, que traduz o balanço energético entre um ponto a montante e outro ponto a jusante, numa equação (5). Esta equação descreve as 3 formas de energia de um fluido, sendo elas: (i) pressão estática (P/γ), que é a pressão ou força, por unidade de área, que um fluido exerce sobre as paredes de um tubo, (ii) energia cinética ($V^2/2g$) que é a energia

adquirida pela aceleração até uma determinada velocidade, e por fim, (iii) a energia potencial (Z) que está relacionada com a sua altura (Z) em relação a um plano de referência, normalmente o solo ou a saída do sistema, uma vez que um fluido quando está a uma certa altura tem a capacidade de gerar movimento apenas pela ação da gravidade [10]. Figura 12.

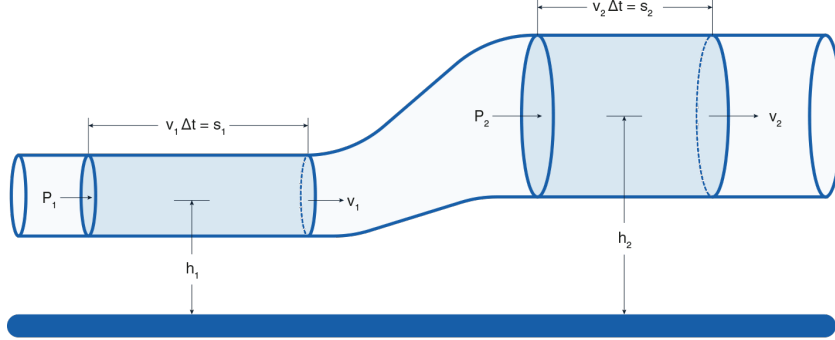


Figura 12: Teorema de Bernoulli aplicado ao escoamento de fluidos,

$$Z_m + \frac{P_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g} = Z_j + \frac{P_j}{\gamma} + \frac{V_j^2}{2g} + \Delta H \quad (5)$$

Em que:

Z_m = cota do ponto a montante em metros;

P_m = pressão relativa do ponto a montante em Pa;

γ = peso volúmico do fluido em N/m^3 ($\gamma_{\text{água}} = 9810 \text{ N/m}^3$);

V_m^2 = velocidade na secção a montante em m/s;

g = aceleração da gravidade m/s^2 ;

ΔH = perda de carga em metros.

No fundo, a equação (5) traduz a conservação de energia de um fluido. Este, em movimento ou em repouso, tem uma energia total que é constante se ignorarmos a existência das perdas de carga (ΔH).

Porém, na verdade, o fluido sofre perdas de carga. Esta parcela, divide-se em duas componentes, sendo elas: ΔH_{cont} e ΔH_{loc} , perda de carga contínua e perda de carga localizada, respetivamente, que quando somadas, equação (6), representam a perda de carga total na tubagem, ΔH_{tot} .

$$\Delta H_{tot} = \Delta H_{cont} + \Sigma \Delta H_{loc} \quad (6)$$

- ΔH_{cont} , Perda de carga contínua, é devido ao atrito entre as paredes da tubagem e o fluido que lá passa;
- ΔH_{loc} , Perda de carga localizada, são perdas associadas a mudanças de diâmetro, válvulas, dispositivos inseridos na rede e juntas

A perda de carga contínua, ΔH_{cont} , pode ser calcula através da equação (7):

$$\Delta H_{cont} = J \cdot L \quad (7)$$

Em que:

J = fator de perda de carga unitária m/m; equação (8) ou (9)

L = comprimento da tubagem em metros.

Sendo que:

$$J = \lambda \frac{V^2}{2gD} \quad (8)$$

Ou:

$$J = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad (9)$$

Com o diâmetro D em metros, caudal Q em m^3/s e a velocidade V em m/s, podemos calcular λ , fator de atrito, com base na equação (10) ou (11):

- Colebrook-White, formula exata, porém não é possível isolar λ , normalmente resolve-se através de método iterativo;

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -10 \log_{10} \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{R_e \sqrt{\lambda}} \right) \quad (10)$$

- Haaland, aproximação direta:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,8 \log_{10} \left[\left(\frac{k}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{R_e} \right] \quad (11)$$

Em que:

R_e = número de Reynolds (adimensional);

k = rugosidade equivalente da conduta em metros. A Tabela 5 apresenta os valores da rugosidade para diferentes materiais.

Tabela 5: Valores de Rugosidade k para alguns materiais.

Material	Rugosidade k (mm)
PEAD	0,04
PVC	0,04
Ferro Fundido	0,25
Fibrocimento	0,0125
Aço	0,05 a 0,3

O número de Reynolds é calculado com base na equação (12):

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (12)$$

Em que:

ρ = massa específica do fluido em kg/m^3 ($\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$);

μ = coeficiente de viscosidade dinâmica do fluido em Ns/m^2 , em termos simples este parâmetro indica o atrito interno entre as partículas do fluido quando se move. É calculado pela equação (13):

$$\mu = 2,414 \cdot 10^{-5} + \frac{247,8}{T - 133,15} \quad (13)$$

Em que:

T = temperatura do fluido, em graus Celsius, o único fator que influencia o coeficiente de viscosidade dinâmica, μ .

A perda de carga localizada, ΔH_{loc} , é calculada a partir da equação (14) e depende do coeficiente de perda localizada K_l (adimensional), que é obtido experimentalmente e que varia com o tipo de singularidade.

$$\Delta H_{loc} = K_l \frac{V^2}{2g} \quad (14)$$

A norma EN 12056-4 [18], intitulada “Sistemas de drenagem por gravidade no interior de edifícios – Parte 4: apresenta uma tabela com alguns coeficientes de perda localizada para válvulas e acessórios, Tabela 6.

Tabela 6: Coeficientes de Perda Localizada [18]

Type of resistance	ζ
Shut-off valve*)	0,5
Non-return valve*)	2,2
Bend 90°	0,5
Bend 45°	0,3
Free outflow	1,0
T-Piece 45° passage in case of flow merging	0,3
T-Piece 90° passage in case of flow merging	0,5
T-Piece 45° branch in case of flow merging	0,6
T-Piece 90° branch in case of flow merging	1,0
T-Piece 90° in case of opposite direction	1,3
Increase in diameter	0,3
*) Specifications provided by the manufacturer should be preferred.	

2.2.2.1. Validação Do Sistema

Após o cálculo da perda de carga total ao longo da tubagem é necessário proceder-se à validação do sistema. Para que exista escoamento no sistema sifônico, é fundamental que exista uma diferença de pressão entre dois pontos suficientemente grande para vencer as perdas de carga ao longo do percurso da tubagem, tal como foi mencionado anteriormente. Considerando a rede representada na Figura 13, composta por um ralo (ponto A), um “tail Pipe” (troço A-B), um troço horizontal (B-C) e um tubo de queda (C-D), o escoamento será garantido apenas se a diferença de pressão entre os pontos a montante e a jusante, de cada troço, for superior à soma das perdas de carga contínuas e localizadas associadas.

A pressão em cada ponto pode ser obtida com base no teorema de Bernoulli. Se admitirmos que o diâmetro da tubagem não se altera e o escoamento for contínuo, podemos considerar que a velocidade é igual em todo o percurso do fluido, logo:

- No troço A-B,

$$\Delta P_{A-B} = -\rho g((Z_A - Z_B) + \Delta H_{total\ A-B}) \quad (15)$$

- No troço B-C, porque $Z_B = Z_C$,

$$\Delta P_{B-C} = -\rho g + \Delta H_{total\ B-C} \quad (16)$$

- No troço C-D,

$$\Delta P_{C-D} = -\rho g((Z_C - Z_D) + \Delta H_{total\ C-D}) \quad (17)$$

Em termos práticos, o sistema apenas entra em regime de funcionamento efetivo se a depressão criada a montante (sobretudo no ponto B) for suficiente para vencer todas as perdas de carga ao longo da rede. Repare-se que quanto maior for a altura dos tubos verticais, em particular o desnível entre o ralo e o ponto de descarga, maior será a diferença de pressão disponível. Caso esta condição não se verifique, o sistema não conseguirá atingir escoamento em regime de pressão. Na Figura 13, podemos observar como seria a variação de pressão ao longo da tubagem através do diagrama desenhado.

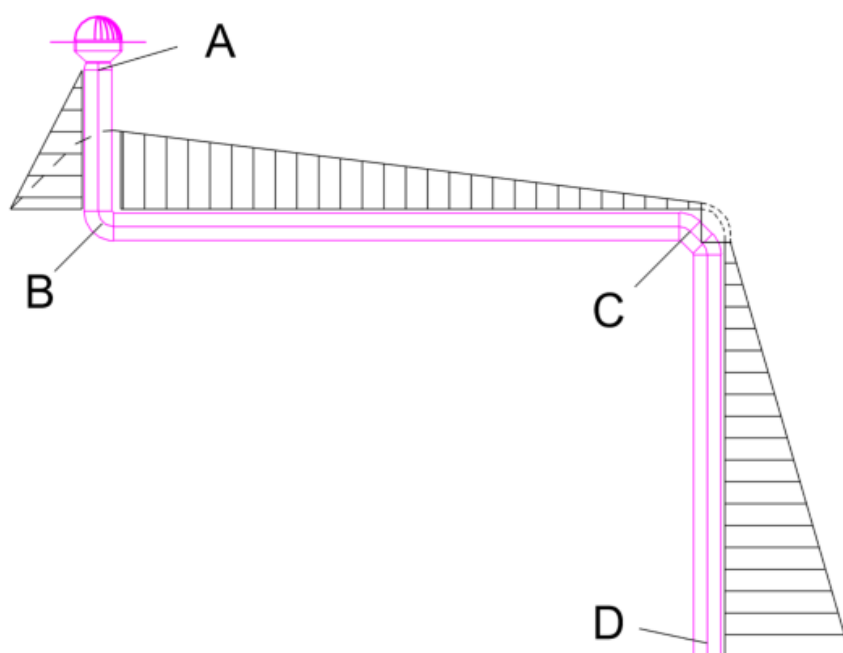


Figura 13: Diagrama da Variação de Pressão ao Longo da Tubagem

É importante considerar que na passagem pelo ponto B o fluido passa por uma curva de 90° o que provoca uma perda de carga localizada. Ou seja, no início do troço horizontal a pressão não é igual à pressão no final do “tail pipe”, representado na Figura 14, mas sim inferior, pois temos de descontar a perda de carga provocada pelo acessório. O mesmo acontece no ponto C, embora neste caso a curva ser de 45°.

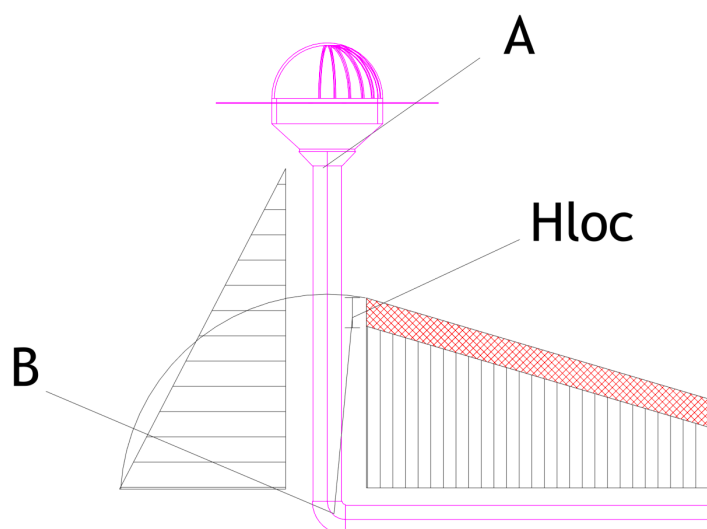


Figura 14: Perda de Carga Localizada, curva 90°

2.2.3. QUANTIDADE NECESSÁRIA E DISPOSIÇÃO DOS RALOS

O posicionamento dos ralos na cobertura, bem como o número de ralos que devem ser instalados, deve ser planejado de forma estratégica, de forma a extrair o melhor desempenho da rede.

Por exemplo a empresa Geberit faz uso da equação (18) para proceder à determinação da quantidade de ralos que devem ser instalados na cobertura [12]:

$$N^{\circ} \text{ Ralos} = \frac{Q_{tot} [L/s]}{\text{Capacidade de descarga}_{de 1 \text{ ralo}} [L/s]} \quad (18)$$

Assim, para um caudal de 30 L/s, utilizando ralos capazes de escoar 12 L/s:

$$\frac{30}{12} = 2,5$$

São necessários 3 ralos. (Os resultados com casas decimais devem ser arredondados para a unidade a seguir).

No que respeita ao posicionamento dos ralos, as recomendações podem variar de acordo com o fornecedor

É aconselhado que haja uma distância mínima entre os ralos na cobertura de 1 metro, de modo a evitar a existência de interferência entre eles. Por outro lado, não é aconselhado que a distância entre ralos seja superior a 30 metros [19]. Para além disso, devem ser instalados com uma diferença de 2 cm em relação à superfície superior da cobertura [9].

2.2.4. LIGAÇÃO À REDE PÚBLICA

A rede pública é responsável por recolher e conduzir as águas pluviais, encaminhando-as para locais de tratamento, retenção ou rejeição final. Porém, esta rede funciona, na maioria dos casos, por gravidade sendo composta por coletores enterrados que seguem declives mínimos para assegurar o escoamento contínuo da água de forma eficiente e segura.

O facto do sistema sifónico não operar segundo o mesmo regime que a rede pública implica que haja uma mudança no tipo de escoamento, quando a rede sifónica entrar em contacto com a rede pública. Esta transição é feita através de câmaras de descompressão (Figura 15), geralmente localizadas no final do tubo de queda. Estas câmaras, para além de permitirem dissipar a energia da água que chega sob pressão ainda garantem as condições necessárias para que o escoamento passe a ocorrer por gravidade, antes de entrar na rede pública. É necessário assegurar que a tubagem que funciona sob pressão se mantém sem a presença de ar no seu interior e, por outro lado, garantir que entra a quantidade de ar necessária ao escoamento gravítico nas tubagens que operam segundo esse sistema. Impõe-se ainda reduzir a velocidade do escoamento, pois o sistema sifónico funciona a velocidades muito superiores quando comparado com o sistema tradicional. Atendendo a que a velocidade é inversamente proporcional ao diâmetro, sempre que existe a necessidade de reduzir a velocidade, deve-se aumentar o diâmetro. Este aumento do diâmetro pode ser realizado antes ou depois da tubagem atravessar a laje de pavimento, Figura 16 e Figura 17, respetivamente.

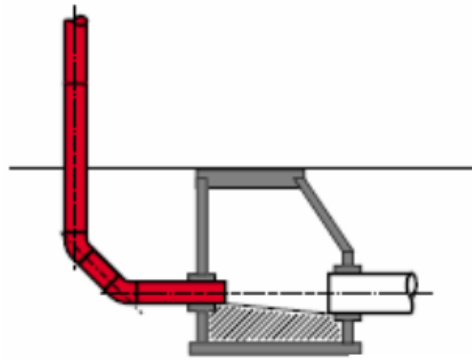


Figura 15: Ligação do Sistema Sifônico à câmara de descompressão, [12]

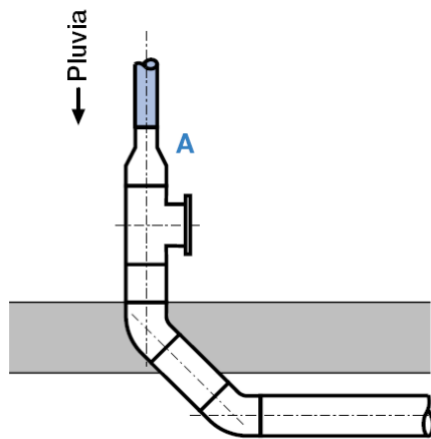


Figura 16: Aumento do diâmetro antes da laje de pavimento, [12]

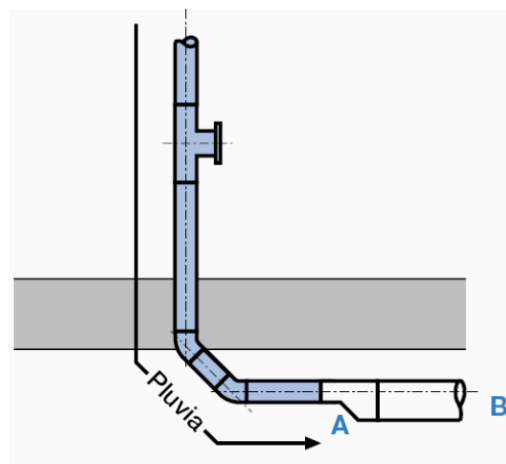


Figura 17: Aumento do diâmetro depois da laje de pavimento, [12]

2.3. PARTICULARIDADES DO SISTEMA SIFÓNICO

2.3.1. PENDENTES NULAS

Tal como já foi mencionado, o sistema de drenagem pluvial tradicional funciona graças à ação da gravidade. Para garantir um funcionamento eficaz e em conformidade com a norma EN 12056-2 [20], as tubagens horizontais são instaladas com uma certa inclinação, promovendo o escoamento contínuo e evitando acumulações no interior da rede. Esta inclinação é fundamental para assegurar que o fluido se movimenta sem estagnações, obedecendo a um declive mínimo que, na prática pode condicionar significativamente o traçado da rede, especialmente em coberturas extensas ou com limitações de altura. Apesar desta inclinação favorecer o fluxo, acaba por apresentar uma desvantagem a nível arquitetónico e de economia de espaço. Concretizando, se se considerar por hipótese um tubo horizontal com 20 metros de comprimento sujeito a uma inclinação de 3%, o desnível geométrico do ponto mais a montante para o ponto mais a jusante é de 60 centímetros [9]. Este desnível diminui o espaço útil dentro do edifício.

Em contraste, os sistemas sifónicos não necessitam dessa inclinação nos troços horizontais, pelo simples facto de o escoamento ocorrer, por natureza, em secção cheia e sob pressão. Portanto, neste sistema as tubagens podem ser instaladas de forma totalmente horizontal sem perdas de espaço.

2.3.2. UTILIZAÇÃO DE DIÂMETROS MAIS REDUZIDOS

O sistema sifónico por funcionar sob pressão e em secção cheia acaba por ter uma maior capacidade de vazão quando comparado com o sistema tradicional. Enquanto o sistema tradicional, nas tubagens verticais, funciona com um grau de preenchimento de 20% ou 33%, valor aconselhado pela norma EN 12056-2 [20], o sistema sifónico na sua capacidade máxima, conta com um grau de preenchimento de 100%.

Segundo a norma (EN 12056-3,[5]), a taxa de ocupação nos tubos de queda, de uma rede de drenagem gravítica, é calculada segundo a equação de Wyly-Eaton ((19)), a seguir representada.

$$Q = 2,5 \times 10^{-4} \times k_b^{-0,167} \times d_i^{2,667} \times f^{1,667} \quad (19)$$

Em que:

Q = caudal em L/s

k_b = rugosidade da tubagem em mm

d_i = diâmetro interno em mm

f = grau de preenchimento da tubagem, adimensional

A equação (19) permite obter o caudal escoado por tubagens verticais sujeitas a drenagem gravítica, consoante um determinado diâmetro e taxa de ocupação. A Tabela 7 apresenta alguns valores da capacidade de transporte de tubos de queda, consoante diâmetros diferentes, graus de preenchimento diferentes e para uma rugosidade igual a 0,25 mm [5].

Tabela 7: Capacidade de Transporte - Tubos de Queda

Internal diameter of rainwater pipe, d_i (mm)	Capacity Q_{RWP} (l/s)		Internal diameter of rainwater pipe, d_i (mm)	Capacity Q_{RWP} (l/s)	
	Filling degree $f = 0,20$	Filling degree $f = 0,33$		Filling degree $f = 0,20$	Filling degree $f = 0,33$
50	0,7	1,7	140	11,4	26,3
55	0,9	2,2	150	13,7	31,6
60	1,2	2,7	160	16,3	37,5
65	1,5	3,4	170	19,1	44,1
70	1,8	4,1	180	22,3	51,4
75	2,2	5,0	190	25,7	59,3
80	2,6	5,9	200	29,5	68,0
85	3,0	6,9	220	38,1	87,7
90	3,5	8,1	240	48,0	110,6
95	4,0	9,3	260	59,4	137,0
100	4,6	10,7	280	72,4	166,9
110	6,0	13,8	300	87,1	200,6
120	7,6	17,4	> 300	Use Wyly-Eaton equation	Use Wyly-Eaton equation
130	9,4	21,6			

Ora, visto que a norma EN 12056-3 ([5]) estipula graus de preenchimento de 1/3 ou 1/5 para o sistema tradicional, isto implica que apenas uma fração da tubagem é efetivamente utilizada para o transporte de água, sendo o restante da secção ocupada por ar. Como o sistema sifónico não conta com ar dentro da tubagem, toda a secção é utilizada para o transporte do fluido, o que permite atingir caudais significativamente superiores com tubagens de menor diâmetro.

Quanto a tubagens horizontais, a norma EN 12056-2, esclarece que a capacidade de transporte pode ser calculada com base na fórmula de Colebrook-White (10). A própria norma conta com duas tabelas com a capacidade máxima de transporte de tubagens horizontais em função do diâmetro, inclinação e grau de enchimento. Os resultados presentes nestas tabelas foram obtidos com base na equação de Colebrook-White e tendo em conta os seguintes parâmetros: rugosidade igual a 1,0 mm e viscosidade igual a $1,31 \times 10^{-6}$ m²/s. A Tabela 8 e Tabela 9 apresentam a capacidade de transporte para um grau de enchimento de 50% e 70%, respetivamente.

Tabela 8: Capacidade de Transporte tubagem horizontal com grau de enchimento de 50%, [20]

Slope	DN 100		DN 125		DN 150		DN 200		DN 225		DN 250		DN 300	
	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v
cm/m	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s
0,50	1,8	0,5	2,8	0,5	5,4	0,6	10,0	0,8	15,9	0,8	18,9	0,9	34,1	1,0
1,00	2,5	0,7	4,1	0,8	7,7	0,9	14,2	1,1	22,5	1,2	26,9	1,2	48,3	1,4
1,50	3,1	0,8	5,0	1,0	9,4	1,1	17,4	1,3	27,6	1,5	32,9	1,5	59,2	1,8
2,00	3,5	1,0	5,7	1,1	10,9	1,3	20,1	1,5	31,9	1,7	38,1	1,8	68,4	2,0
2,50	4,0	1,1	6,4	1,2	12,2	1,5	22,5	1,7	35,7	1,9	42,6	2,0	76,6	2,3
3,00	4,4	1,2	7,1	1,4	13,3	1,6	24,7	1,9	38,9,2	2,1	46,7	2,2	83,9	2,5
3,50	4,7	1,3	7,6	1,5	14,4	1,7	26,6	2,0	42,3	2,2	50,4	2,3	90,7	2,7
4,00	5,0	1,4	8,2	1,6	15,4	1,8	28,5	2,1	45,2	2,4	53,9	2,5	96,9	2,9
4,50	5,3	1,5	8,7	1,7	16,3	2,0	30,2	2,3	48,0	2,5	57,2	2,7	102,8	3,1
5,00	5,6	1,6	9,1	1,8	17,2	2,1	31,9	2,4	50,6	2,7	60,3	2,8	108,4	3,2

Tabela 9: Capacidade de transporte, tubagem horizontal com grau de enchimento de 70%, [20]

Slope	DN 100		DN 125		DN 150		DN 200		DN 225		DN 250		DN 300	
i	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v	Q_{max}	v
cm/m	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s
0,50	2,9	0,5	4,8	0,6	9,0	0,7	16,7	0,8	26,5	0,9	31,6	1,0	56,8	1,1
1,00	4,2	0,8	6,8	0,9	12,8	1,0	23,7	1,2	37,6	1,3	44,9	1,4	80,6	1,6
1,50	5,1	1,0	8,3	1,1	15,7	1,3	29,1	1,5	46,2	1,6	55,0	1,7	98,8	2,0
2,00	5,9	1,1	9,6	1,2	18,2	1,5	33,6	1,7	53,3	1,9	63,6	2,0	114,2	2,3
2,50	6,7	1,2	10,8	1,4	20,3	1,6	37,6	1,9	59,7	2,1	71,1	2,2	127,7	2,6
3,00	7,3	1,3	11,8	1,5	22,3	1,8	41,2	2,1	65,4	2,3	77,9	2,4	140,0	2,8
3,50	7,9	1,5	12,8	1,6	24,1	1,9	44,5	2,2	70,6	2,5	84,2	2,6	151,2	3,0
4,00	8,4	1,6	13,7	1,8	25,8	2,1	47,6	2,4	75,5	2,7	90,0	2,8	161,7	3,2
4,50	8,9	1,7	14,5	1,9	27,3	2,2	50,5	2,5	80,1	2,8	95,5	3,0	171,5	3,4
5,00	9,4	1,7	15,3	2,0	28,8	2,3	53,3	2,7	84,5	3,0	100,7	3,1	180,8	3,6

O facto de o sistema sifónico recorrer a tubagens com diâmetros inferiores leva a que, para o mesmo caudal, a velocidade do escoamento seja bastante superior quando comparada ao sistema tradicional. Como consequência, estas elevadas velocidades podem dar origem a níveis de ruído considerável durante o funcionamento do sistema, tornando-se, por vezes, necessário recorrer a soluções de isolamento acústico em determinadas secções da rede. A Figura 18 mostra um tubo revestido com uma manga de desacoplamento.



Figura 18: Tubo revestido com uma manga de desacoplamento, [12]

2.4. SISTEMA TRADICIONAL VS SISTEMA SIFÓNICO

Para além das particularidades anteriormente referidas, como a eliminação das pendentes nas tubagens horizontais e a utilização de diâmetros reduzidos, o sistema sifónico distingue-se ainda por possibilitar um traçado mais racional da rede, a redução do número de prumadas e uma maior liberdade na conceção arquitetónica e estrutural.

Com o intuito de aferir as diferenças práticas entre os sistemas tradicional e sifônico de drenagem de águas pluviais, teve-se em conta um estudo realizado na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, no Brasil. O estudo consistiu em uma análise comparativa baseada em três cenários de galpões industriais fictícios com áreas de cobertura de 400 m^2 , 2000 m^2 , 4000 m^2 . Ademais, teve em consideração os critérios definidos pela norma brasileira NBR 10844 para o sistema tradicional e pela norma BS 8490 para o sistema sifônico. Os softwares utilizados para modelação e dimensionamento das redes foram respectivamente Autodesk Revit e PredialSoft da Saint-Gobain, [21].

Para ambos os sistemas foram considerados os mesmos parâmetros climáticos (intensidade de precipitação de 178 mm/h , cobertura com 15 metros de altura e com duas águas). Neste estudo foram qualificados os seguintes parâmetros: número de prumadas, diâmetros das tubulações, comprimento total de tubagens e caudal escoado por minuto. Na Tabela 10 podemos observar alguns dos resultados obtidos.

Tabela 10: Resultados Comparativos do Estudo, [21]

Tradicional	Cenário	Área (m^2)	Nº de Prumadas	Diâmetro (mm)	Q (L/min)	Tubos (m)
	1	400	4	100	296,67	136,58
	2	2000	10	150	593,33	714,91
	3	4000	20	150	593,33	1730,13
Sifônico	Cenário	Área (m^2)	Nº de Prumadas	Diâmetro (mm)	Q (L/min)	Tubos (m)
	1	400	1	75	1186,67	83,38
	2	2000	1	150	5933,33	157,94
	3	4000	2	150	5933,33	280,18

Com base nos resultados obtidos para este caso de estudo verificou-se que, o sistema sifônico utiliza um número consideravelmente inferior de prumadas, é capaz de escoar uma maior quantidade de fluido por minuto e ainda apresenta uma solução de rede mais compacta, isto é, com menor extensão de tubagem.

Foi ainda comparado valores de custo dos materiais, mão de obra e tempo de execução. Relembrando que o este estudo foi realizado no Brasil, teve-se em consideração o custo dos materiais e mão-de-obra do mercado brasileiro e todos os valores monetários foram calculados na moeda brasileira e não na moeda europeia [21]. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 11: Valores Comparativos, [21]

Tradicional	Cenário	Custo de Materiais (R\$)	Mão-de-obra (R\$)	Tempo de execução (horas)
	1	7 475,40	3 151,32	315,1
	2	31 473,76	16 934,27	1 693,4
	3	89 622,70	41 244,84	4 124,5
Sifônico	Cenário	Custo de Materiais (R\$)	Mão-de-obra (R\$)	Tempo de execução (horas)
	1	19 997,26	2 367,67	236,8
	2	50 951,67	5 455,17	545,5

	3	93 893,85	10 298,51	1 029,9
--	---	-----------	-----------	---------

Este exercício comparativo em específico, revelou que, para todos os cenários o custo dos materiais para o sistema sifônico é mais elevado. Em contrapartida, o custo da mão de obra e o tempo de execução são inferiores quando comparados com o sistema tradicional. Isto deve ao facto de que, o custo da mão de obra estar diretamente relacionado com a duração das tarefas a desenvolver, ora visto que, o sistema sifônico requer um menor tempo de execução, o custo da mão de obra associado será também inferior.

Com base nos valores presentes na Tabela 11, foi possível criar o gráfico presente na Figura 19, que faz a junção de todos os custos associados dos dois sistemas.

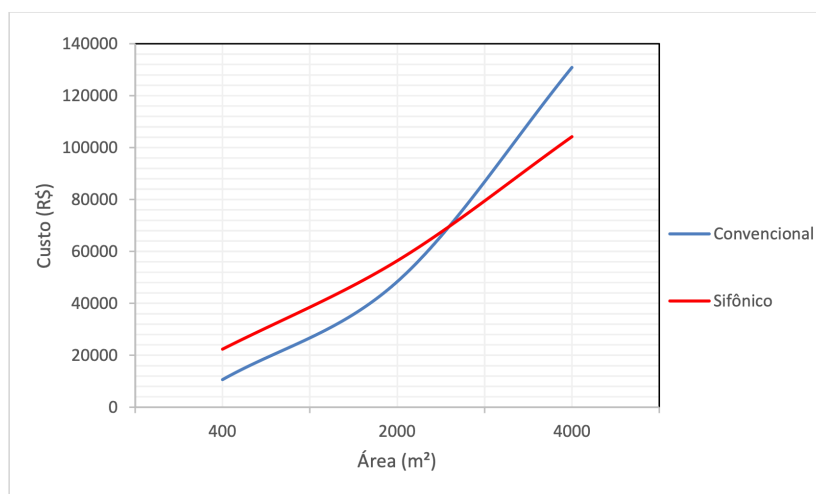


Figura 19: Custo Total versus área da cobertura, [21]

Através do gráfico presente na Figura 19, observamos que, para este caso de estudo, a partir de uma área de cobertura de 2936 m² o sistema sifônico torna-se mais viável a nível económico.

O estudo anterior mostra que o fator condicionante à escolha do sistema sifônico face ao sistema tradicional é o custo dos materiais. Apesar das economias do sistema sifônico já mencionadas anteriormente como: a redução nos diâmetros das tubagens, a diminuição do número de tubos de queda, entre outras. Acresce ainda o custo das patentes relacionadas com este tipo de sistema.

Em concordância com o estudo anterior, pode-se dizer que a partir de uma determinada área de cobertura o sistema sifônico torna-se mais económico do que o sistema tradicional. Uma vez que quanto maior for a área a drenar, o sistema tradicional tem necessariamente de recorrer a cada vez mais ralos e tubagens. A área correspondente ao ponto em que o sistema sifônico se torna mais económico que o sistema tradicional depende dos parâmetros específicos de cada projeto (intensidade de precipitação, coeficiente de escoamento, geometria da cobertura, entre outros), o que significa que é impossível de determinar. Posto isto, o autor, de uma dissertação de mestrado [9] procurou determinar a área mínima que justifique a adoção do sistema sifônico. Para isso, considerou a capacidade máximas dos ralos comercializados em Portugal (12 L/s) e com base na equação (4) calculou as áreas correspondentes a esse caudal para diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos), regiões (A B e C, mencionadas no ponto 2.2.1) e para uma duração de precipitação de 5 minutos. Chegou à conclusão de que essas áreas representavam o ponto de aproveitamento máximo de cada ralo. Contudo, o autor referiu que, de forma a dar maior fiabilidade ao sistema deviam ser considerados pelos menos dois ralos. Por fim, o autor

chegou às seguintes áreas mínimas para se atingir um caudal de 12 L/s, estas encontram-se apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Áreas mínimas para se atingir um caudal de 12L/s, [9]

T (Anos)	Região		
	A	B	C
2	539,38	674,22	449,48
5	411,69	514,61	343,07
10	359,59	449,48	299,66
20	323,19	403,99	269,32
50	287,24	359,05	233,28
100	267,63	332,39	221,59

2.5. APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS ATRAVÉS DA DRENAGEM SIFÓNICA

A urbanização acelerada, as alterações climáticas e o aumento do consumo de água pelo homem contribuem para a crescente escassez de recursos hídricos, o que leva à procura urgente por soluções sustentáveis no setor da construção. Portugal, por exemplo, já registou uma redução de 20% na disponibilidade de água nos últimos 20 anos, sendo ainda expectável uma redução adicional de 10 a 25% até ao final do século [22]. Uma forma de contornar esta situação problemática é através de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, estes sistemas permitem substituir o uso de água potável por água da chuva em situações que não requerem água com qualidade para consumo humano, como rega, lavagem de pisos ou descargas sanitárias. Esta prática contribui significativamente para a redução do consumo de água e consequente alívio dos sistemas públicos de abastecimento de água. Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais contam com um dispositivo chamado “first-flush”, cuja função é desviar as primeiras águas para um local diferente das restantes. Isto deve-se ao facto de estas primeiras águas transportarem contaminantes acumulados nas superfícies da cobertura que fazem com que a água seja imprópria até para usos não potáveis. Existem dois tipos de elementos desviadores, um deles desvia um volume de água fixo para o primeiro reservatório antes de encaminhar o restante para o reservatório que irá armazenar a água que de facto será reutilizada. O segundo apenas encaminha a água para o reservatório que armazena a água que vai de facto ser aproveitada quando a intensidade de precipitação atinge um determinado nível [23].

Tradicionalmente, os sistemas de aproveitamento de água são idealizados para integrarem os sistemas de drenagem gravítica. Nestas situações o dispositivo “first-flush”, essencial para a rejeição das primeiras águas da chuva, é instalado no ponto de transição caleira – tubo de queda. Caso se tratasse de um sistema de drenagem sifónico o posicionamento do dispositivo nesse ponto levaria a anulação do efeito de sucção, essencial ao escoamento do sistema, devido à admissão de ar dentro da tubagem por parte do dispositivo.

No entanto, a tese de mestrado de Ana Isabel Ribeiro da Silva [13] demonstrou que é possível adaptar o sistema de aproveitamento de águas pluviais a um sistema de drenagem sifónica. O processo de adaptação passa por alterar o posicionamento do dispositivo “first-flush” do ponto de transição caleira

– tubo de queda para o ponto imediatamente antes dos reservatórios, evitando assim a anulação do efeito de sucção. A autora da tese montou rede de drenagem experimental no laboratório da escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Após a conclusão da instalação realizou ensaios experimentais nos quais manteve o caudal de entrada constante variando apenas a duração da precipitação e o tempo de atuação do dispositivo “first-flush”. Por fim, através do seu trabalho experimental a autora concluiu que a integração de um dispositivo “first-flush” num sistema de drenagem sifónica, é viável e que a combinação entre estas duas tecnologias representa uma solução inovadora e eficiente no contexto de gestão dos recursos hídricos em edifícios.

Em suma, apesar de o aproveitamento de águas pluviais ser normalmente associado ao sistema de drenagem gravítica, isso não constitui um impedimento à sua implementação em sistemas sifónicos. Tal como demonstrado na tese de mestrado referida anteriormente para além de ser possível adaptar o dispositivo “first flush” ao funcionamento sob pressão esta prática é viável. Assim, a ideia de que os sistemas sifónicos não são compatíveis com a reutilização de águas pluviais não se justifica. Com o devido planeamento e conceção hidráulica, estes sistemas podem e devem incorporar soluções de aproveitamento de águas pluviais, contribuindo assim para a sustentabilidade dos edifícios.

2.6. METODOLOGIA BIM

A metodologia BIM (Building Information Modeling) tem sido cada vez mais utilizada na engenharia, isto deve-se ao facto de esta tecnologia permitir desenvolver um modelo virtual do edifício, a ser construído, e nesse mesmo modelo ter presente toda a informação técnica associada, como materiais, dimensões e custos.

O Revit é um software da Autodesk usado para modelação de informação de construção (BIM), onde “informação” diz respeito não apenas à representação tridimensional dos elementos, mas também a todos os dados associados a cada objeto modelado, como características físicas, materiais, dimensões, custos, desempenho energético e relações com outros elementos [24]. O Revit permite projetar, desenhar e documentar edifícios e infraestruturas em três dimensões, integrando arquitetura, estruturas e especialidades num único modelo digital inteligente [25]. No que diz respeito às redes hidráulicas, este software, é bastante útil pois, para além, de permitir uma modelação precisa e evitar as colisões das redes com as outras especialidades, através das Revit Schedules é possível realizar o dimensionamento dessas mesmas redes. As Revit Schedules são tabelas que permitem extrair, organizar e apresentar dados dos elementos modelados num projeto BIM. Estas tabelas encontram-se diretamente ligadas ao modelo 3D e atualizam-se automaticamente sempre que há alterações no projeto. Na verdade, as Schedules possibilitam visualizar, filtrar, calcular e editar a informação contida no modelo.

2.6.1. GEBERIT, REVIT PLUG-IN AUTODESK

Tal como já foi mencionado anteriormente, o sistema sifónico baseia-se em princípios conhecidos da hidráulica. Apesar disso, grande parte das empresas que trabalham com este sistema possuem softwares próprios, protegidos por patente, com algoritmos próprios de cálculo para estes sistemas. Como é o caso da empresa Geberit.

Em 2019, a empresa Geberit, desenvolveu o seu “Plug-in” para Autodesk Revit, com o objetivo de dar acesso a conteúdo BIM aos seus engenheiros [26]. Este Plug-in dá, ao utilizador, acesso a uma biblioteca

de famílias paramétricas Revit, de produtos das linhas Geberit (ponto 2.6.1.1), como: ralos, tubagens, acessórios entre outros [27].

Para além disso este Plug-in tem a capacidade de estabelecer uma ligação entre o Revit e um software independente (ProPlanner [28]), desenvolvido pela Geberit (ponto 2.6.1.2). Este software assiste no planeamento de elementos sanitários e ainda possui algoritmos de cálculo [29].

2.6.1.1. Famílias de Objetos

É comum as empresas disponibilizarem objetos BIM dos seus produtos ao público. Este Plug-in está diretamente ligado a uma base de dados da marca, de forma a garantir que os objetos BIM dos seus produtos se encontrem atualizados. Segundo a marca, os objetos apenas ficam disponíveis após passarem por testes de controlo de qualidade, [29].

Os objetos BIM são disponibilizados como “famílias Revit” que seguem geometrias simples. Como por exemplo a família de um ralo da linha da Geberit. Figura 20.

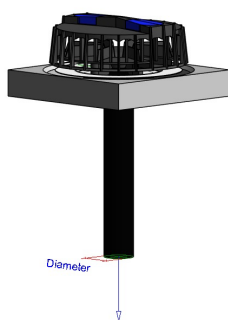


Figura 20: Família Revit Ralo da Geberit

Esta família insere-se na categoria “Plumbing Fixtures”. Figura 21.

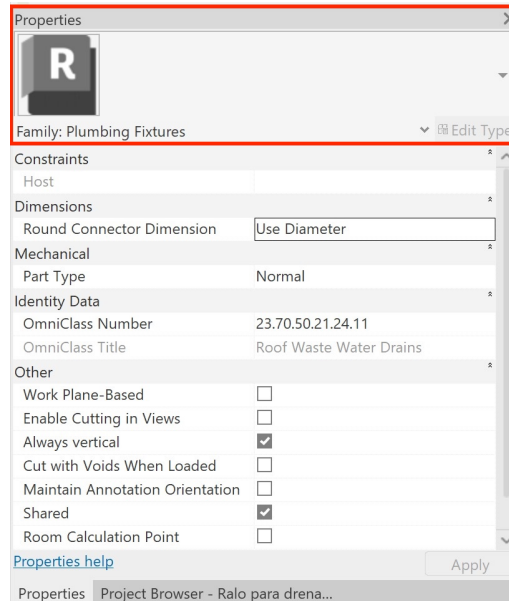


Figura 21: Propriedades das Famílias, ralo

Com base nas propriedades do conector da família, presentes na Figura 22, conseguimos perceber que se trata de um conector circular, cujo diâmetro é de 56 mm e que se encontra limitado a um caudal máximo de 12 L/s. O sentido do escoamento encontra-se definido como “out”, o que significa que a família está configurada para que o fluido saia do conector e não o contrário. A classificação do sistema foi atribuída como “Sanitary”.

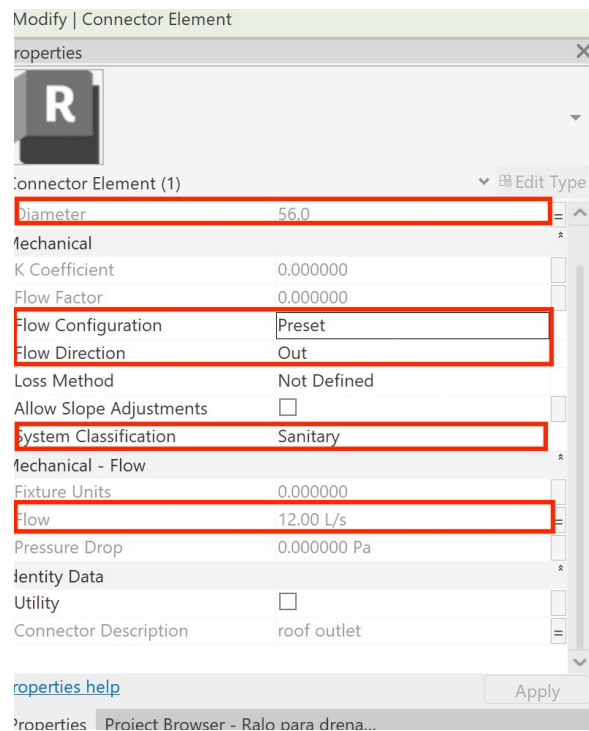


Figura 22: Propriedades do Conector da família

Apesar de estas bibliotecas de famílias estarem disponíveis ao público, é comum que as empresas que trabalham com o Revit possuam um Template próprio e famílias próprias, onde constam parâmetros internos da empresa, que são utilizados por todos os que lá trabalham. Como consequência, as famílias Revit fornecidas por fabricantes, como a Geberit, para serem utilizadas por outras empresas necessitam frequentemente de ser editadas para se adaptarem aos parâmetros internos de cada organização. Isto acontece porque os parâmetros presentes nas famílias disponibilizadas pelos fabricantes podem não coincidir com os presentes nos Templates das outras empresas.

Por exemplo, as famílias de ralos da Geberit não estão associadas a parâmetros como a intensidade de precipitação, área de influência e coeficiente de escoamento. Isto deve-se ao facto de a Geberit recorrer a um software independente (Pro Planner [28]) para a realização dos cálculos, ou seja, as suas famílias não necessitam de conter tais parâmetros porque o cálculo não é efetuado no Revit.

No caso específico da empresa BIM Source, Lda, foi necessário atribuir esses parâmetros diretamente às famílias dos ralos, de forma a possibilitar a realização dos cálculos hidráulicos no próprio Revit, sem necessidade de recorrer a software externo. Para que isso seja possível, é essencial que o Revit consiga ler essa informação corretamente.

A Figura 23 e a Figura 24 mostram os parâmetros associados a uma família de ralos da empresa Geberit e BIM Source, Lda, respetivamente.

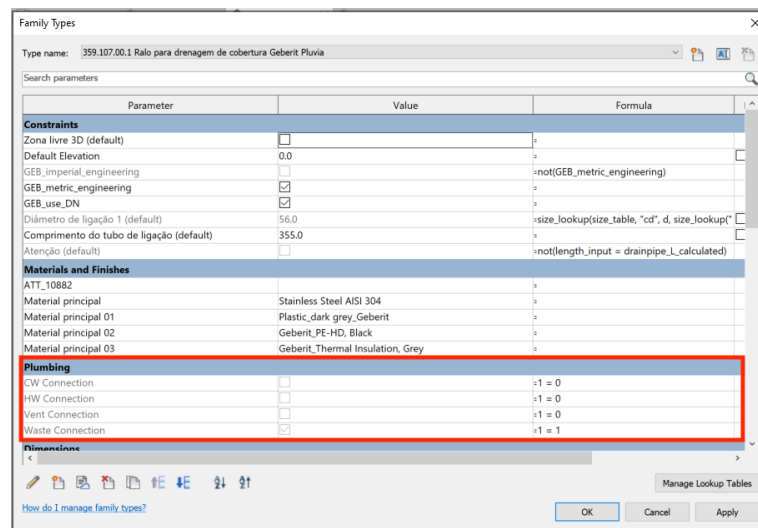


Figura 23: Família Geberit

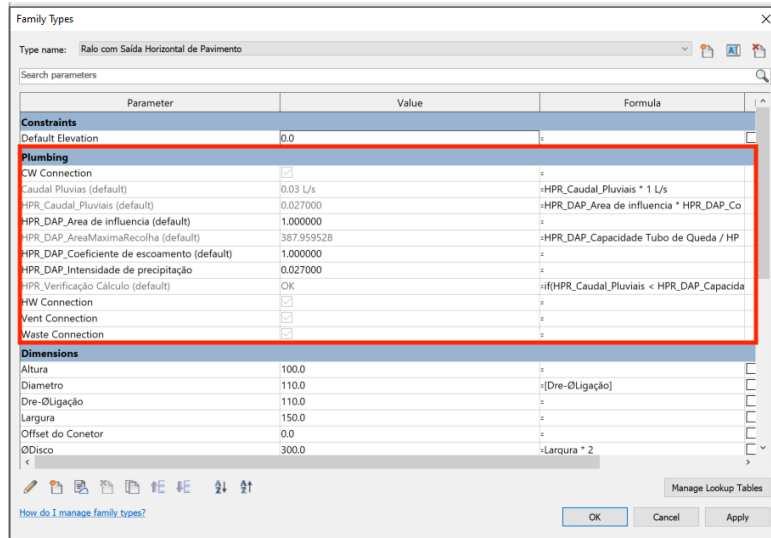


Figura 24: Família BIM Source, Lda

2.6.1.2. Geberit ProPlanner Software

O ProPlanner da Geberit pode ser usado em diversos sistemas como o Geberit Duofix – sistema de instalação e de descarga, Geberit HPDE e Geberit Silent-db20 – sistemas de drenagem e o Geberit Pluvia – sistema de drenagem sifônica de águas pluviais [29].

Segundo a marca, este software, para além de calcular automaticamente parâmetros como: a área da cobertura, o número ralos a utilizar, os comprimentos e os diâmetros das tubagens da rede, após a importação de dados CAD do projeto, o software está programado para chegar à solução mais económica e eficiente [30].

Além disso, o software disponibiliza:

- Desenhos isométricos;
- Cálculos hidráulicos;
- Listagem de materiais incluindo componentes de fixação;
- Cálculos de custos com documentos prontos a enviar para concursos.

O software, essencialmente, aplica o teorema de Bernoulli entre os diferentes pontos da rede, partindo de caudais definidos previamente. Este trabalha com fatores de segurança e ajuste próprios da empresa. Tal como já foi referido, a pressão negativa essencial para que este tipo de escoamento ocorra é tanto mais quanto mais for o desnível geométrico entre o ponto mais a montante e o ponto mais a jusante.

Apesar disso, importa destacar que o ProPlanner apresenta limitações significativas na sua integração com o Revit. Já que os elementos importados para o Revit não contêm informação associada, apenas a geometria da rede é transferida. Deste modo, o potencial do BIM enquanto modelo de informação completo fica comprometido. E caso se pretenda utilizar o Revit para a análise ou simulação de redes pluviais, é necessário introduzir manualmente nas famílias dos componentes todos os dados relevantes.

2.7. LIMITAÇÕES DO SISTEMA PLUVIA DA GEBERIT

Apesar das vantagens já mencionadas relativas à utilização de sistemas sifônicos de drenagem de águas pluviais, é necessário ter em consideração que este sistema conta com algumas limitações e condições específicas de aplicação. De acordo com as indicações técnicas da Geberit, são de salientar as seguintes restrições do sistema [31]:

- Separação de sistemas – não é aconselhável interligar o sistema sifônico a tubagens cujo funcionamento seja gravítico;
- Velocidade mínima – tal como o sistema tradicional, o sistema sifônico exige uma velocidade mínima de 0,7 m/s de forma garantir a autolimpeza da rede e evitar sedimentação dentro das tubagens.
- Caudal mínimo por ralo – o sistema exige no mínimo, um caudal de 1 L/s em cada ralo para garantir a ativação do sistema
- Limites de pressão - os limites de pressão dentro das tubagens devem ser respeitados.
 - Pressão negativa – 800 mbar para tubagens PE80 DN40-160 e -450 mbar para tubagens PE80 DN200–315
 - Pressão positiva até 1500 mbar
- Altura mínima do edifício – é obrigatório que a altura do edifício seja suficiente para assegurar que a linha de escoamento cumpre com os requisitos de pressão necessário à ativação do efeito de sifão

3

METODOLOGIA

3.1. ENQUADRAMENTO

Com o intuito de cumprir os objetivos mencionados no capítulo 1 seguiram-se os seguintes passos presentes no fluxograma da Figura 25.

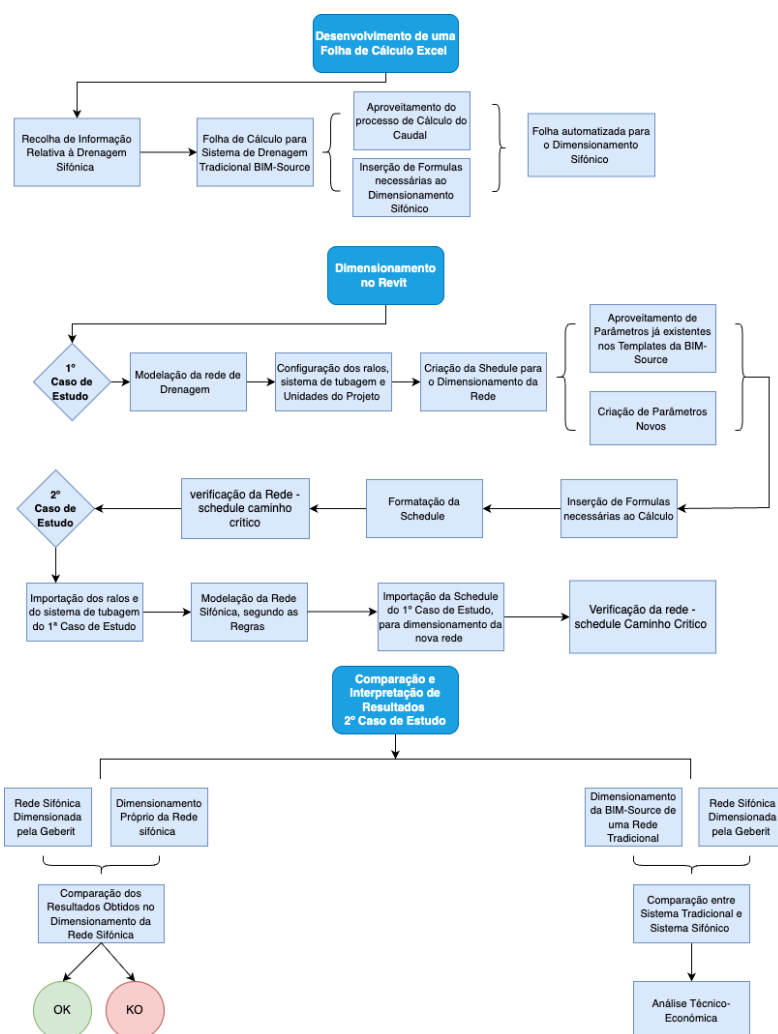


Figura 25: Fluxograma

O primeiro passo, após a recolha de informação relativa à drenagem sifónica, foi transformar uma folha de cálculo Excel, programada para efetuar o cálculo de redes de drenagem gravíticas pela BIM Source, Lda, em uma folha capaz de realizar o cálculo de redes sifónicas. Este processo encontra-se explicado em mais detalhe no ponto 3.3.

De seguida iniciou-se o trabalho com recurso ao Revit, onde o objetivo foi recorrer a este software para desenvolver um método de cálculo, sifónico, automático. Para isso, teve-se em consideração dois casos de estudo que serão apresentados no ponto 3.2.

3.2. APRESENTAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

3.2.1. EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS

O primeiro caso de estudo escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi um edifício de escritórios de 17 andares, sendo 15 andares de escritórios, 1 andar técnico e 1 andar enterrado (cave), localizado em Lisboa. O estudo deste projeto foi efetuado com recurso ao Revit e o modelo BIM foi fornecido pela empresa Bim Source, Lda. A Figura 26 representada a vista 3D extraída do Revit.

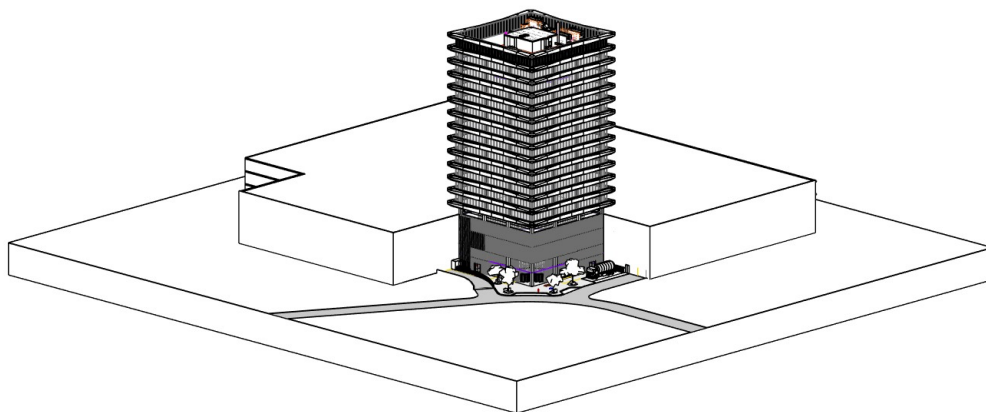


Figura 26: 1º Caso de Estudo, Vista 3D Revit

Os engenheiros da BIM Source, Lda projetaram a rede drenagem de águas pluviais para funcionar segundo o sistema gravítico, onde as águas precipitadas na cobertura são drenadas através de caleiras com ligação a quatro tubos de queda, Figura 27 e Figura 28.

O valor da intensidade de precipitação considerado para o dimensionamento da rede gravítica foi de 120 mm/h. Teve-se em consideração uma duração de 5 minutos para a precipitação e um período de retorno de 10 anos. Quanto aos materiais utilizados: os tubos de queda são de PP (polipropileno insonorizado), os coletores enterrados de PVC rígido PN6/SN4, o ramal de ligação e redes exteriores são em PVC corrugado SN8 e por último as condutas elevatórias são em PEAD PE 100 PN10.

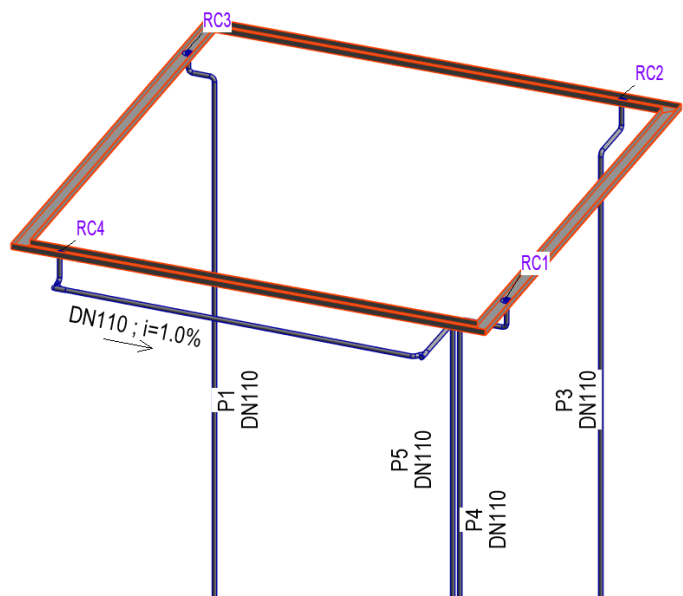


Figura 27: Rede Gravítica, parte superior

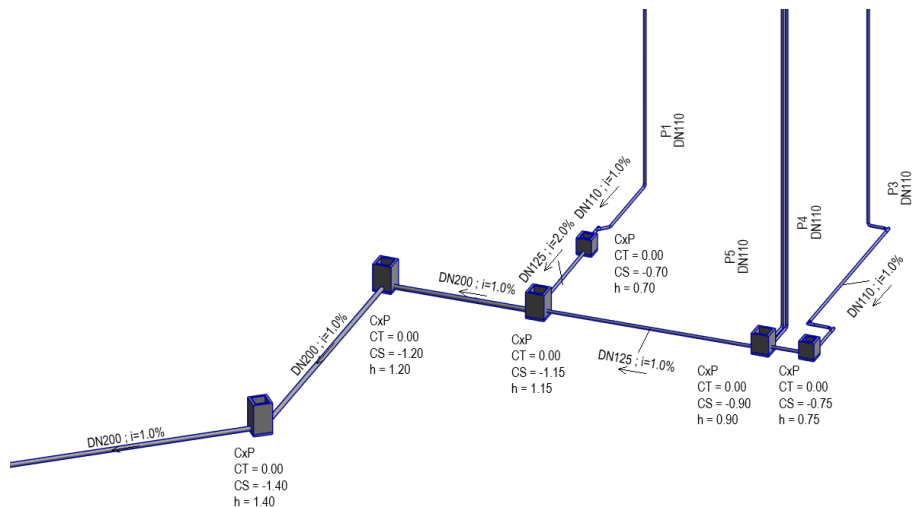


Figura 28: Rede gravítica, parte inferior

3.2.2. ARMAZÉM INDUSTRIAL

O segundo caso de estudo escolhido para a continuação do desenvolvimento deste trabalho foi um armazém de um complexo industrial localizado na Marinha Grande. O modelo BIM foi fornecido pela BIM Source, Lda. A Figura 29 representa a vista 3D extraída do Revit.

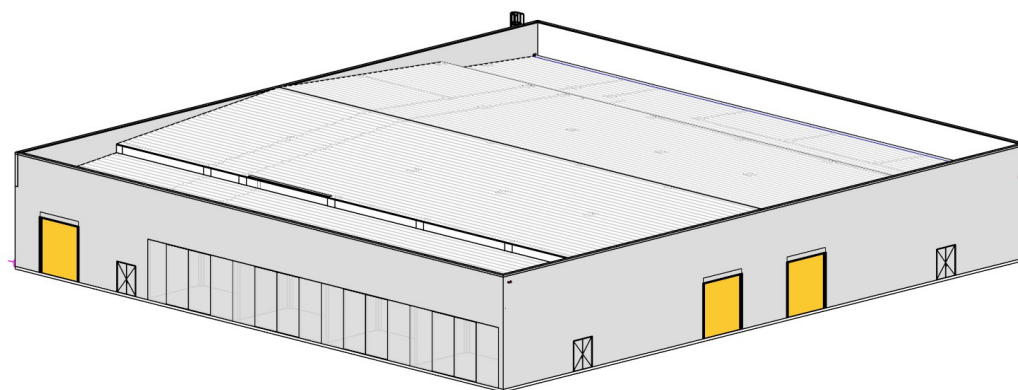


Figura 29: 2º Caso de Estudo, Vista 3D Revit

Para este projeto, os engenheiros da BIM Source, Lda, também projetaram a rede responsável pela drenagem de águas pluviais segundo o sistema gravítico. Esta rede foi dimensionada tendo em conta que a Marinha Grande pertence à região pluviométrica A, para um período de retorno de 10 anos e para uma precipitação com duração de cinco minutos, sendo assim o valor estimado para a intensidade de precipitação é de 120mm/h. A Figura 30 representa a rede de drenagem gravítica.

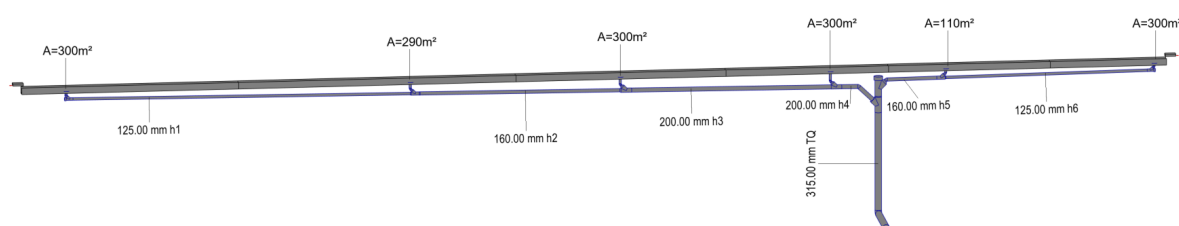


Figura 30: Rede de Drenagem Gravítica

Quanto aos critérios de dimensionamento da rede temos que:

O caudal de cálculo, em cada troço, é determinado a partir das áreas a drenar, do coeficiente de escoamento e da intensidade de precipitação mencionada anteriormente, equação (4).

Após o cálculo do caudal, recorreu-se à equação (20) de Manning Strickler para o dimensionamento da rede.

(20)

$$Q_c = \text{Caudal de cálculo (m}^3/\text{s)}$$
$$K_s = \text{Coeficiente de Manning Strickler (m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

S = Secção útil de escoamento (m²)

R = Raio hidráulico (m)

i = inclinação (m/m)

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos no cálculo da rede.

Tabela 13: Cálculo rede gravítica

Referência			Propriedades da Tubagem													Capacidade de Transporte
System Name	Referência	Comments	caudal (l/s)	Diâmetro	Diâmetro Interior	Inclinação (Atualizar com Dynamo)	Comprimento	Caudal Seção Cheia (l/s)	K	q	Y/d	Ângulo ao centro	Seção molhada (m2)	Raio Hidráulico	Velocidade	
RWW 10		h1	10.02	125.00 mm	120.80 mm	1.00%	16.07	13.33	120	0.75	0.65	1.88 rad	0.007	0.030	1.49	2.91
RWW 10		h2	19.71	160.00 mm	153.60 mm	1.00%	9.51	25.30	120	0.78	0.67	1.91 rad	0.011	0.038	1.78	3.70
RWW 10		h3	29.73	200.00 mm	192.20 mm	1.00%	9.50	45.99	120	0.65	0.59	1.75 rad	0.016	0.047	1.87	4.63
RWW 10		h4	39.75	200.00 mm	192.20 mm	1.00%	0.76	45.99	120	0.86	0.72	2.02 rad	0.018	0.047	2.16	4.63
RWW 10		h5	13.69	160.00 mm	153.60 mm	1.00%	2.35	25.30	120	0.54	0.53	1.63 rad	0.009	0.038	1.45	3.70
RWW 10		h6	10.02	125.00 mm	120.80 mm	1.00%	9.58	13.33	120	0.75	0.65	1.88 rad	0.007	0.030	1.49	2.91
RWW 10		TQ	53.44	315.00 mm	302.60 mm	1.00%	2.94	154.29	120	0.35	0.41	1.38 rad	0.031	0.074	1.72	7.22

3.3. DIMENSIONAMENTO APOIADO EM FOLHA DE CÁLCULO

Uma das formas de cálculo utilizada para o dimensionamento da rede sifónica foi através de uma folha de cálculo no Excel. Esta folha foi criada a partir de uma folha já existente, e criada pela BIM Source, Lda. Esta, servia para o dimensionamento de uma rede de drenagem pluvial, mas para o sistema tradicional, logo o objetivo foi adaptá-la ao sistema sifónico. A meta era conseguir criar uma folha capaz de executar todo o cálculo necessário para dimensionar a rede e de uma forma automática, em que o utilizador apenas tivesse de inserir alguns dados iniciais. Esta folha de cálculo pode ser dividida em 5 partes. Figura 31.

[illegible]

Figura 31: Folha de Cálculo para Dimensionamento de Rede Sifônica, Excel

É importante realçar dois aspetos:

- As células que estão a azul-escuro são células onde o utilizador necessita de inserir os valores da sua rede e as células que estão a azul mais claro são de cálculo automático.
- Esta folha foi desenvolvida para as regiões pluviométricas de Portugal.

A primeira parte da folha, apresentada na Figura 32, é onde o utilizador define os seus parâmetros iniciais, como o período de retorno, região pluviométrica e duração da chuvada, para que de uma forma automática seja calculada a intensidade de precipitação, com base na equação (3), mencionada anteriormente.

Região Pluviométrica	A	Período de retorno	10 anos
Intensidade de precipitação	0.02 l/min/m ² = 334 l/s/ha = 120 mm/h	Duração da chuvada	5 min

Figura 32: Parâmetros iniciais, Excel

A segunda parte, que já tem em conta o valor da intensidade de precipitação calculado anteriormente, é onde o utilizador faz a designação dos nós e insere o valor da área a ser drenada, (de acordo com o tipo de superfície), desta forma é calculado automaticamente o caudal com base na equação (4).

Nó montante	Nó jusante	Precipitação						Caudal acumulado de troços a montante	Caudal total
		Área a drenar (m²)			Área	Coeficiente ponderado	Área reduzida		
		Cobertura	Pavimento	Jardim					
m _i	j _i	C = 1,00	C = 0,85	C = 0,30	A (m²)	C	C·A (m²)	Q' (l/s)	Q (l/s)
Ralo 1	A	250,0			250	1,00	250	0,00	8,34
					0		0	0,00	0,00
					0		0	0,00	0,00
					0		0	0,00	0,00
					0		0	0,00	0,00
					0		0	0,00	0,00
					0		0	0,00	0,00
					0		0	0,00	0,00
					0		0	0,00	0,00

Figura 33: Designação dos nós e cálculo do caudal, Excel

Tal como observamos na Figura 33, se tivermos um troço que faz a ligação de um ralo, que drena uma área de 250 m², até ao nó A, a folha dá-nos um valor de caudal de 8,34 L/s.

A terceira parte destina-se ao pré-dimensionamento. Nesta parte, a folha está configurada para fixar a velocidade como sendo 2 m/s e com base na equação (21) calcular a secção da tubagem. Que por sua vez permite calcular o raio e o diâmetro da tubagem. Com base nesse diâmetro e com base nas folhas

técnicas dos fabricantes, (neste caso foram utilizados os tubos da linhagem da Geberit), escolhemos o diâmetro que mais se aproxime do nosso diâmetro de cálculo. Por fim, com esse diâmetro escolhido através das fichas técnicas dos fabricantes calculamos a velocidade real do escoamento através da equação recorrendo novamente à equação (21).

$$Q = V \times S \quad (21)$$

Em que:

Q = caudal

V = velocidade do escoamento

S = secção

Pré-dimensionamento					
Secção	Raio	Diametro interior Calculo	Diametro Nominal	Diametro interior comercial	Velocidade
$S = \pi \cdot r^2$ [mm ²]	R [mm]	Dintcalc [mm]	DN [mm]	Dint [mm]	V [m/s]
4,17	36,45	72,90	90	83	1,54
0	0	0	90	83	0
0	0	0	90	83	0
0	0	0	90	83	0
0	0	0	90	83	0
0	0	0	90	83	0
0	0	0	90	83	0
0	0	0	90	83	0
0	0	0	90	83	0

Figura 34: Pré-dimensionamento, Excel

Através da Figura 34, se mantivermos os valores anteriores, podemos observar que para um caudal de 8,34 L/s temos uma secção de 4,17 mm², raio de 36,45 mm, diâmetro interior de cálculo de 72,89 mm. Nas tubagens da Geberit o que mais se aproxima do nosso diâmetro interno de cálculo é uma tubagem com 90mm de diâmetro, cujo diâmetro interior é de 83mm. Com base nos 83mm de diâmetro interior temos uma velocidade real de 1,54 m/s.

A quarta parte encontra-se apresentada na Figura 35 e corresponde à secção mais exigente do ponto de vista de cálculo, embora a sua utilização seja bastante simples para o utilizador. Este apenas necessita de introduzir o comprimento do troço em metros, sendo que todo o resto do processo de cálculo é efetuado automaticamente pela folha. Nesta secção, é determinada a perda de carga total, obtida pela soma da perda de carga contínua com a perda de carga localizada.

O cálculo inicia-se pela determinação da viscosidade dinâmica da água, a partir da temperatura, utilizando a equação (13). Com esse valor, calcula-se o número de Reynolds (equação (12)). Posteriormente, tendo em conta a rugosidade do material da tubagem, previamente inserida, calcula-se o fator de atrito através da equação de Colebrook-White. Este fator permite, por sua vez, obter a perda de carga unitária, a qual é multiplicada pelo comprimento do troço para determinar a perda de carga contínua.

Relativamente à perda de carga localizada, é considerado um acréscimo estimado correspondente a 15% do comprimento do troço. Por fim, a soma das duas componentes fornece o valor total da perda de carga ao longo do troço analisado.

Perda de carga contínua									
Temperatura da água	Coeficiente de Viscosidade dinâmica	Numero de Reynolds	Rugosidade absoluta	Fator de atrito	Fator de perda de carga unitária	Perda de carga contínua	Perda de carga localizada	Perda de carga total	Comprimento da tubagens (troço)
T [C°]	μ [Pa/s]	RE	K [m]	λ	J	ΔH_{cont}	ΔH_{Loc} 15%	ΔH_{tot}	L [m]
21	0,00098	0,0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						
21	0,00098	0	0,000007						

Figura 35: Cálculo da Perda de Carga, Excel

Por fim, a última parte de folha de cálculo (encontra-se apresentada na Figura 36), serve para calcular a variação da pressão ao longo do troço. Esta variação é dada pela subtração do desnível geométrico do troço menos a perda de carga total. Nesta parte da tabela o utilizador apenas tem de inserir a cota do ponto mais a montante do troço bem como a cota do ponto mais a jusante do troço, para que a folha consiga obter o valor do desnível geométrico e prosseguir com a subtração. Para concluir a última coluna da folha destina-se à verificação da velocidade mínima que garante a autolimpeza da conduta, que apenas se consegue se a velocidade for superior a 0,7 m/s.

				Verificação!
Variação de pressão	Altura Montante	Altura Jusante	Desnível Geométrico	Velocidade Mínima
ΔP_2 [m.c.a]	Zmont [m]	Zjus [m]	ΔH [m]	Vmin = 0,7 [m/s]
0			0	OK
0			0	KO
0			0	KO
0			0	KO
0			0	KO
0			0	KO
0			0	KO
0			0	KO

Figura 36: Cálculo da variação de pressão ao longo do trecho, Excel

É importante realçar que esta folha de cálculo foi desenvolvida com o intuito de validar os princípios de dimensionamento e as fórmulas hidráulicas que serão aplicadas posteriormente em ambiente Revit. Apesar de esta ferramenta não ter sido utilizada para dimensionar as redes estudadas nesta dissertação, o seu papel foi essencial como ferramenta de apoio técnico, permitindo validar todas as fórmulas e princípios de cálculo utilizados.

3.4. DIMENSIONAMENTO APOIADO EM MODELAÇÃO BIM

3.4.1. CONFIGURAÇÕES INICIAIS

Antes de se iniciar o processo de dimensionamento no Revit, é fundamental garantir que o modelo está corretamente configurado em termos de unidades de medida, uma vez que estas influenciam diretamente os cálculos associados ao dimensionamento hidráulico. Visto que, foram utilizados dois modelos diferentes para o desenvolvimento deste trabalho é importante garantir que ambos se encontram com as mesmas unidades de projeto. A Figura 37 e a Figura 38 mostram as unidades em que se encontram ambos os modelos.

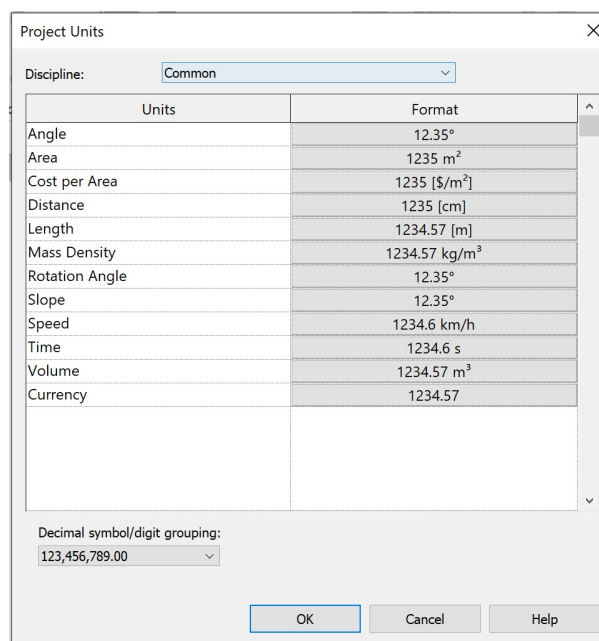


Figura 37: Unidade de Projeto "Common", Revit

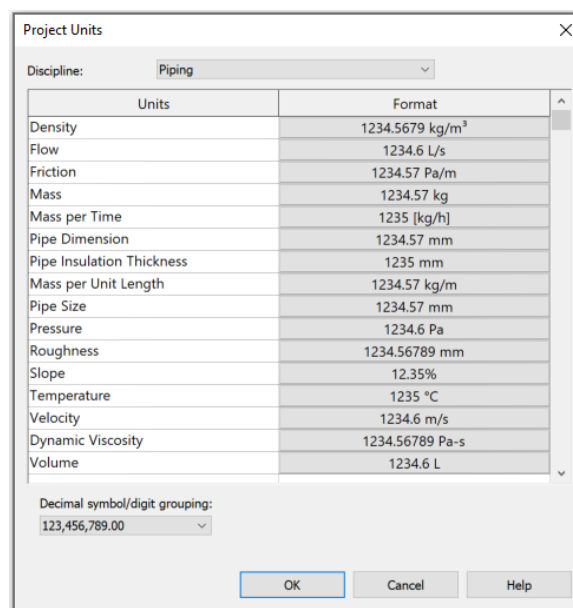


Figura 38: Unidades de Projeto "Piping", Revit

Para além disso, torna-se necessário compreender como o Revit realiza os cálculos hidráulicos, nomeadamente no que diz respeito à perda de carga, caudal e diâmetro das tubagens. De forma, a assegurar que todos os parâmetros inseridos nas famílias e Schedules estejam adequadamente ajustados ao tipo de sistema em estudo, seja ele tradicional ou sifônico. A Figura 39 mostra que o Revit tem a opção de utilizar a equação de Colebrook-White ou a equação de Haaland para o cálculo do fator de fricção λ .

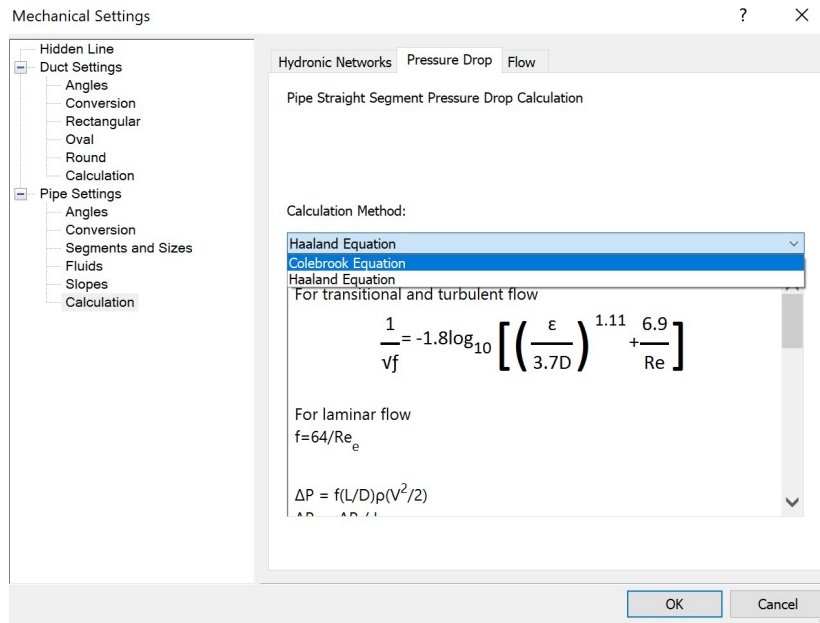


Figura 39: Mechanical Settings - Pressure Drop

3.4.2. INÍCIO DO TRABALHO NO REVIT

Posteriormente às configurações iniciais, o processo de trabalho no Revit seguiu a seguinte ordem, presente no fluxograma da Figura 40.

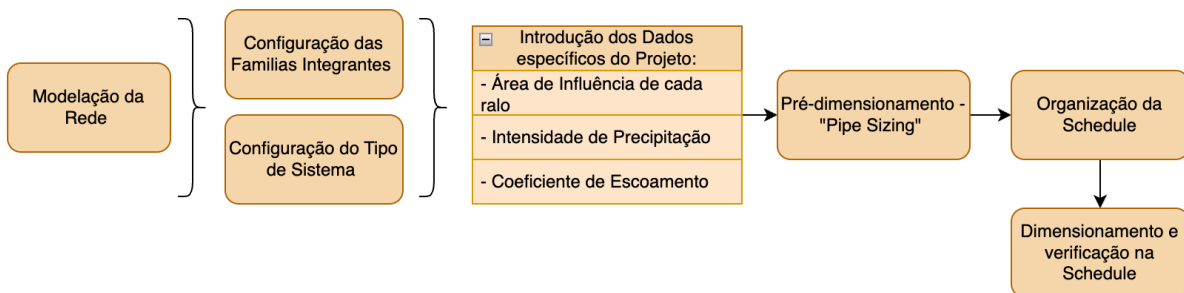


Figura 40: Fluxograma - Processo de dimensionamento no Revit

Após a modelação da rede, é necessário configurar o tipo de sistema que vamos utilizar e as famílias Revit dos elementos integrantes da rede, estes processos de configuração serão explicados com pormenor nas secções 3.4.2.1 e 3.4.2.2, respetivamente. De seguida é necessário atribuir os dados específicos do projeto em questão, como o valor da intensidade de precipitação, o coeficiente de escoamento e a área de influência de cada ralo, este processo está explicado no ponto 3.4.2.3. Estes processos descritos em cima servem não só para garantir que o modelo contém toda a informação necessária ao cálculo hidráulico da rede, como também para assegurar que o Revit é capaz de interpretar e trabalhar corretamente essa informação.

Assim que a fase anterior esteja concluída, passamos para uma fase de pré-dimensionamento, onde utilizamos uma das várias funcionalidades do Revit, algo que também será explicado em mais detalhe na secção 3.4.2.4. Por fim, criamos a Schedule e organizamos a informação disponível e necessária no modelo para o dimensionamento, de forma a conseguirmos realizar ajustes e verificações do cálculo, em mais detalhe no ponto 3.4.2.5.

3.4.2.1. Configuração do Sistema

No Revit existem vários tipos de sistemas hidráulicos entre eles estão o “Sanitary” e o “Domestic Cold/Hot Water”. O sistema “Sanitary” é normalmente utilizado para modelar redes de drenagem de águas residuais e pluviais que não funcionam a secção cheia, enquanto os sistemas “Domestic Cold/Hot Water” são utilizados para modelar redes de abastecimento, que funcionam a secção cheia. Por este motivo, durante o processo de modelação e dimensionamento no Revit, foi necessário alterar a classificação do sistema de tubagem de “Sanitary” para “Domestic Cold Water”. Esta decisão deveu-se ao facto de o sistema em estudo funcionar sob pressão e a secção cheia. Como tal, exige a realização de cálculos hidráulicos completos, nomeadamente de pressões e perdas de carga, fundamentais para a validação do seu funcionamento.

Ao utilizar a classificação “Sanitary”, o Revit limita a opção de cálculo a “Flow Only” (visível na Figura 41), o que significa que apenas permite o cálculo do caudal nas tubagens. Esta configuração é adequada para sistemas de escoamento por gravidade, onde não existe acumulação e as tubagens não funcionam a secção cheia.

Contudo, o sistema sifónico funciona com tubagens em regime de secção cheia e escoamento sob pressão, sendo essencial calcular as perdas de carga ao longo da rede, bem como a variação de pressão entre diferentes pontos do sistema. Para permitir que o Revit execute esses cálculos, foi necessário alterar a classificação do sistema para “Domestic Cold Water”, o que ativou a opção “All” em “Calculations” (visível na Figura 42). Esta configuração permite ao software considerar propriedades físicas do fluido, como viscosidade dinâmica e densidade, possibilitando um dimensionamento mais realista e tecnicamente rigoroso.

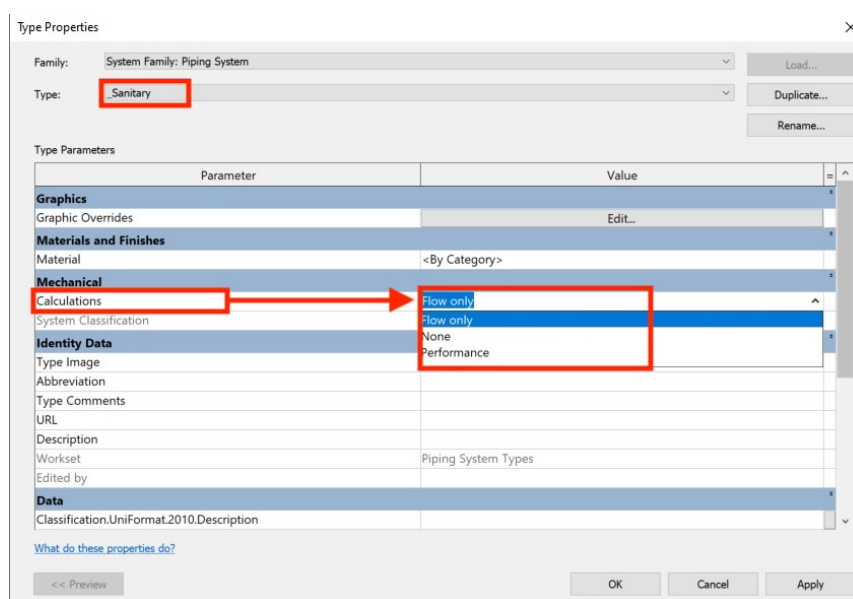


Figura 41: System Sanitary - Calculations

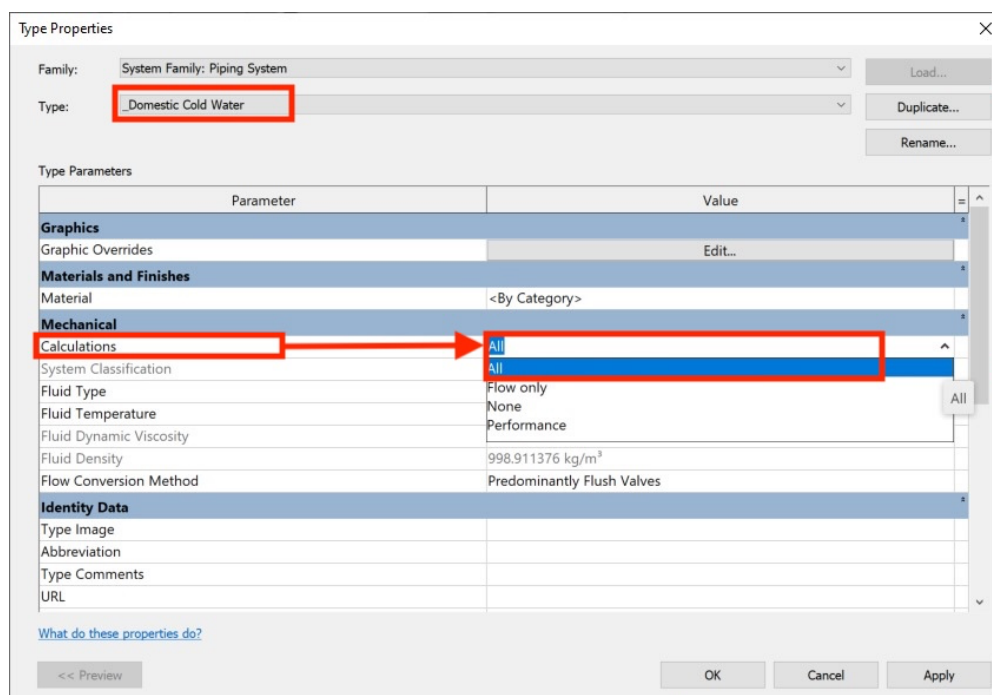


Figura 42: System Domestic Cold Water – Calculations

3.4.2.2. Configuração das Famílias Integrantes

No decorrer do trabalho no Revit, recorreu-se a uma família de ralos da BIM Source, Lda, á qual foi necessário realizar algumas alterações. É, nas propriedades desta família, que o utilizador define a intensidade de precipitação e o coeficiente de escoamento para depois ser calculado o caudal. A família encontrava-se previamente configurada para calcular o caudal, porém em “Fixture Units”. Ora o Revit segue um método que converte as “Fixture Units” para um caudal volumétrico utilizando os valores presentes na edição de 2012 do International Plumbing Code (IPC), Tabela E103.3(3). O método de conversão do caudal está especificado nas propriedades do tipo de sistema da tubagem para classificações de sistemas “Domestic Cold/Hot Water”. O caudal resultante é utilizado para o dimensionamento das tubagens.

Deste modo, foi necessário criar um parâmetro ao qual se deu o nome de “Caudal Pluviais”, cuja função é multiplicar essas Fixture Units pela unidade litros por segundo obtendo assim um “Flow” que representa o valor direto do caudal em litros por segundo.

Paralelamente, foi essencial garantir que a configuração do parâmetro Flow no conector de saída, “Flow Configuration”, estivesse definido como “Preset”. Esta definição indica ao Revit que o caudal atribuído é um valor fixo e conhecido, e que não deverá ser calculado automaticamente com base noutros elementos da rede. Visível na Figura 43.

Por fim, este parâmetro foi associado ao conector de saída da família do ralo, permitido que, ao utilizar esta família em outros projetos, o caudal seja automaticamente disponibilizado com unidades compatíveis com o sistema de cálculo do Revit.

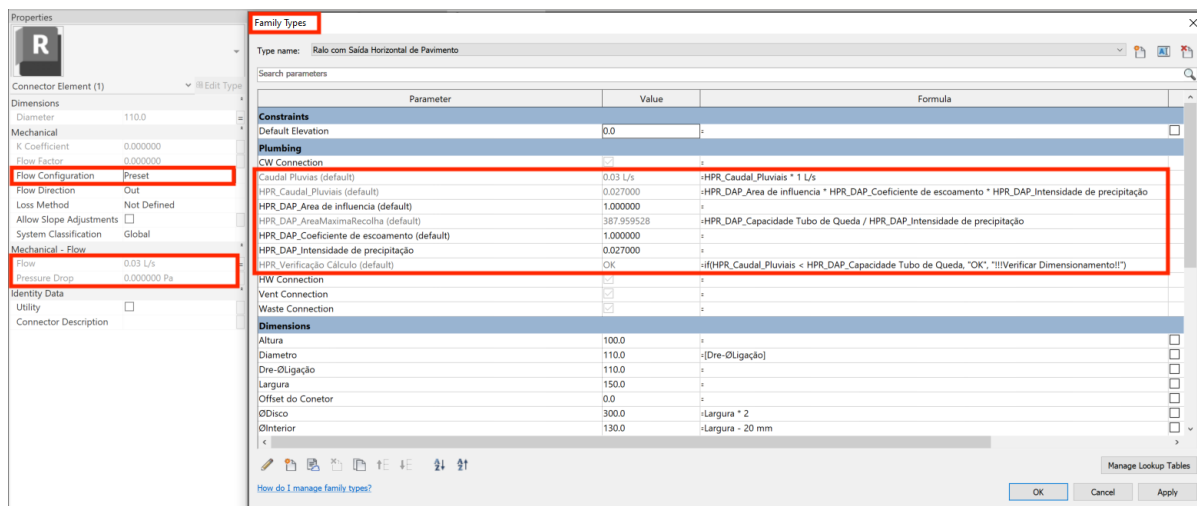


Figura 43: Configuração da Família dos Ralos

Por fim foi necessário definir a rugosidade da tubagem utilizada de forma a obter um cálculo mais preciso. Foi utilizado o valor da rugosidade da linha de tubagens da Geberit. A Figura 44 mostra o processo de atribuição do valor da rugosidade à família de tubagens.

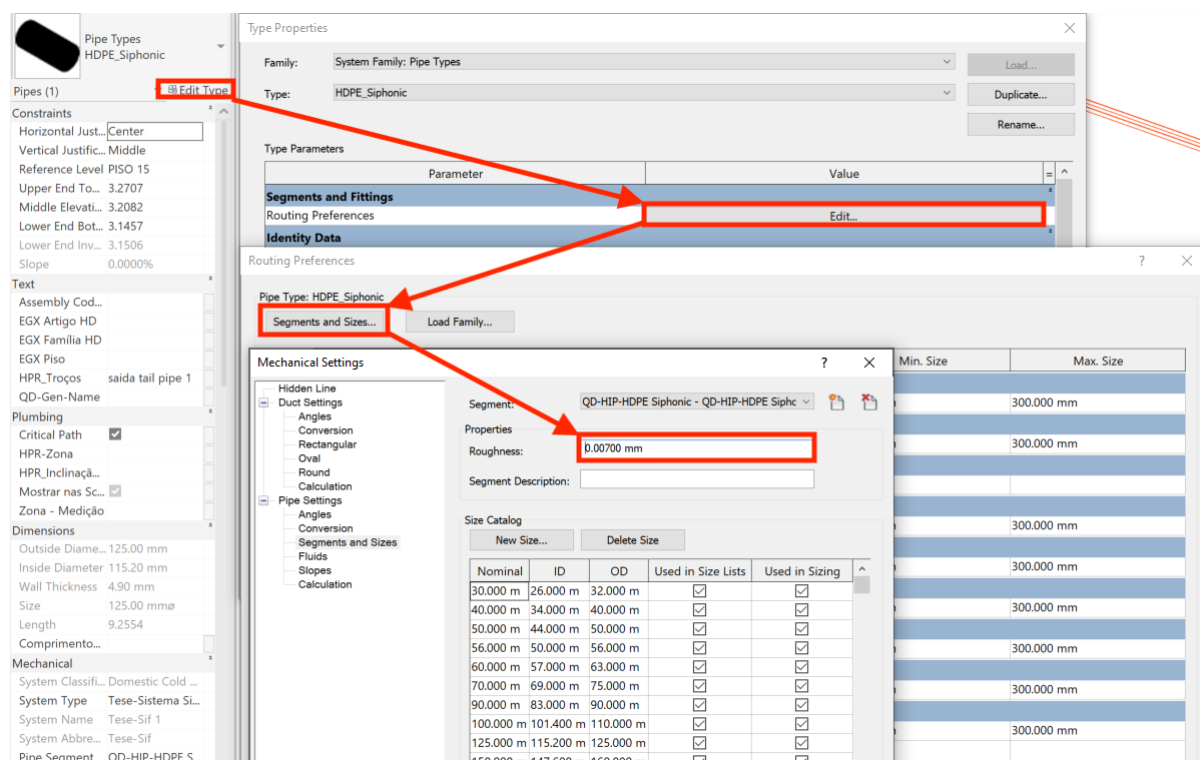


Figura 44: Rugosidade

3.4.2.3. Atribuição dos Dados Específicos do Projeto

No Revit, para o dimensionamento de uma rede de drenagem pluvial é necessário medir a área de influência de cada ralo Figura 45. Esta área corresponde à superfície da cobertura cuja água será escoada por esse elemento. Além disso, é necessário introduzir a intensidade de precipitação e o coeficiente de escoamento nas propriedades dos ralos Figura 46. É com base nesta informação, que o Revit calcula automaticamente o caudal. Estes parâmetros mencionados anteriormente são específicos de cada projeto.

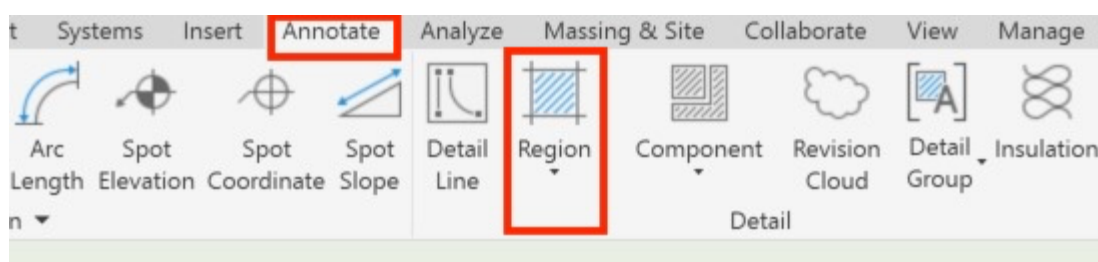


Figura 45: Determinação da Área de Influência de cada ralo

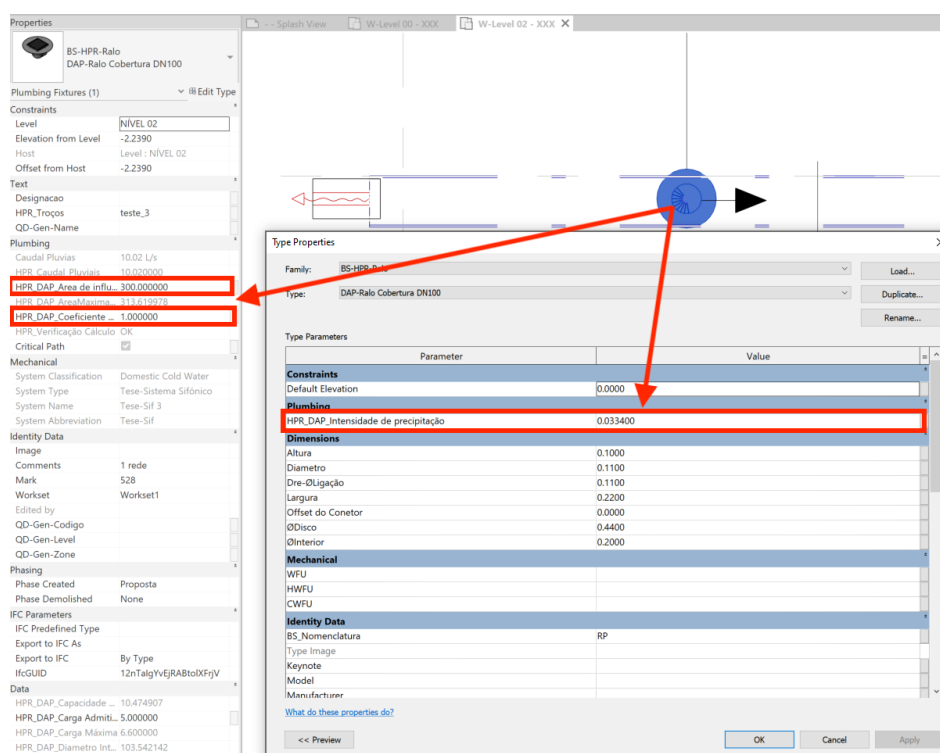


Figura 46: Propriedades do Ralo

3.4.2.4. Pré-Dimensionamento

Para a realização do pré-dimensionamento recorreremos a uma funcionalidade do Revit chamada “Duct/Pipe Sizing” (Figura 47), que fica disponível quando selecionamos uma tubagem ou um troço de tubagens. Esta funcionalidade permite que com base nos parâmetros: velocidade máxima e/ou perda de carga admissível o Revit ajuste automaticamente o diâmetro dos elementos selecionados. Para além disso é possível selecionar a opção “Match Connector Size” que garante que o Revit respeita o diâmetro do conector de saída dos ralos, ou seja, o diâmetro da ligação onde o ralo se conecta à tubagem da rede.

Importa referir que esta funcionalidade apenas fica disponível para sistemas do tipo “Hydronic Supply” e “Domestic Cold/Hot Water”, ambos caracterizados por escoamentos em regime de secção cheia. Esta foi, aliás uma das principais razões pelas quais se optou por alterar o tipo de sistema no modelo Revit, de forma a conseguir ter acesso a esta funcionalidade. Pois, quando o sistema está corretamente configurado, esta ferramenta permite realizar o pré-dimensionamento hidráulico de toda a rede de forma automática. Representando assim uma das razões pelas quais a modelação destas redes no Revit se tornam vantajosas, pois esta funcionalidade fica responsável pela maior parte do processo de dimensionamento enquanto as Schedules assumem, neste contexto, um papel de suporte, validação de resultados e ajustes finais.

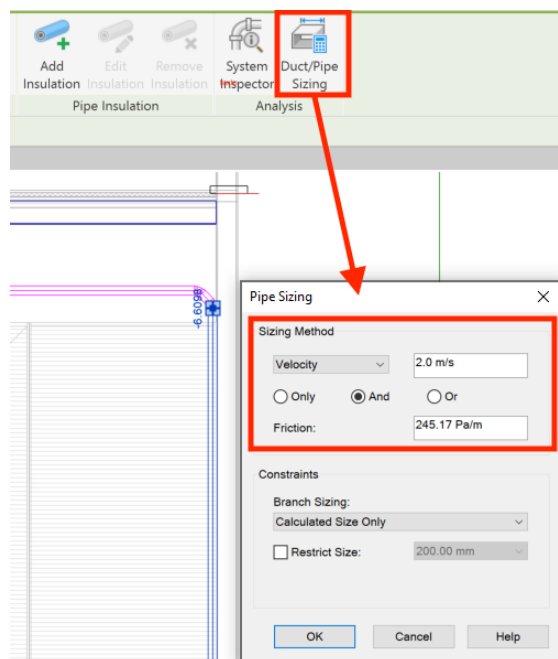


Figura 47: Duct/Pipe Sizing

3.4.2.5. Criação das Revit Schedules

As Revit Schedules são tabelas que reúnem toda a informação contida no modelo. Estas permitem que o utilizador faça a gestão da informação que pretende visualizar, através de filtros. São construídas da seguinte forma:

Primeiro para a criação de uma nova Schedule é necessário escolhermos a categoria em que os nossos parâmetros se inserem, neste caso será na categoria de tubagens, (visível na Figura 48).

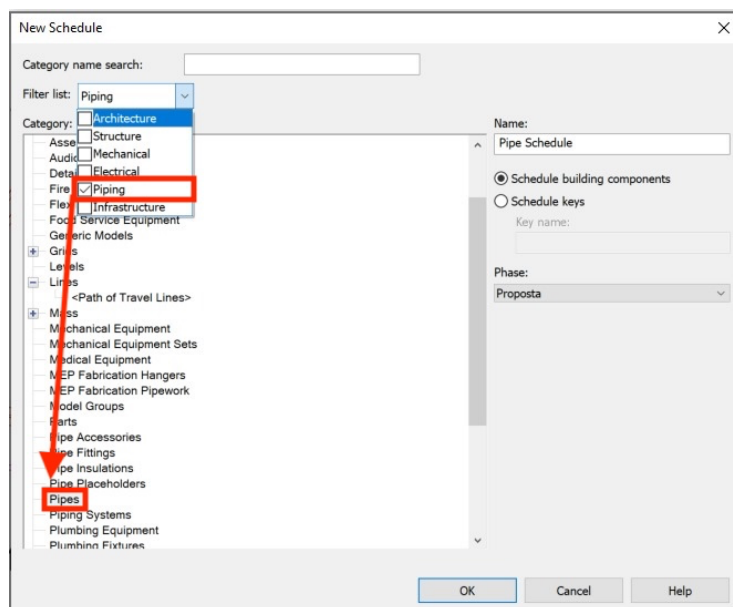


Figura 48: Nova Schedule

Após a criação de uma Schedule, o utilizador deve seleccionar os parâmetros que pretende que sejam visíveis e incluídos na tabela. No contexto do dimensionamento de uma rede sifónica, foram seleccionados parâmetros relevantes como: caudal, velocidade de escoamento e perda de carga ao longo da tubagem, entre outros. Tal como se encontra representado na Figura 49.

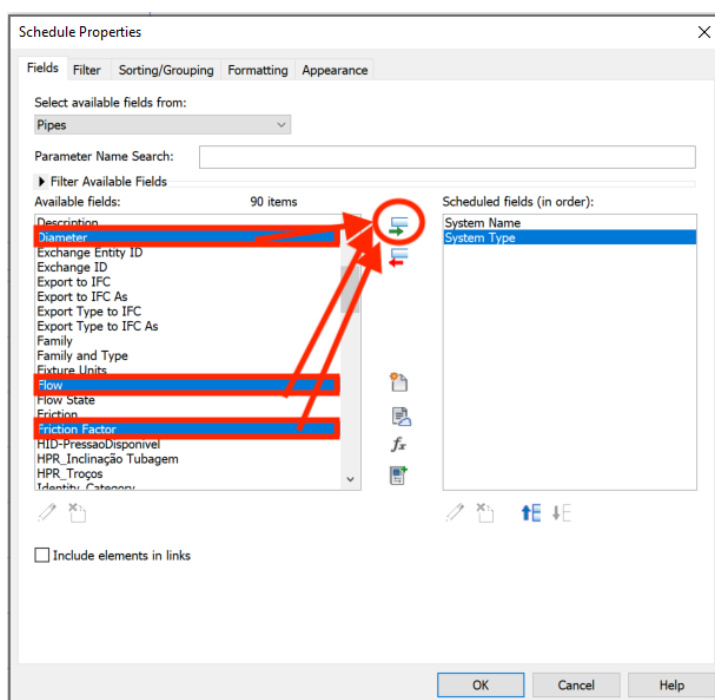


Figura 49: Escolha de Parâmetros para Schedules

Caso o utilizador pretenda inserir parâmetros novos, o Revit tem a opção de criar novos parâmetros com base em fórmulas. Na presente dissertação recorreremos a essa funcionalidade, por exemplo, para o cálculo do fator de perda de carga unitária através da equação (8) ou (9). Figura 50.

Quando o utilizador cria um parâmetro novo, ele pode optar por definir o parâmetro como “Common Number” ou associá-lo a uma “disciplina” e um “tipo” de parâmetro mais específico, como por exemplo “Piping > Flow” ou “HVAC > Pressure Drop”. A principal diferença entre estas abordagens está ligada a forma como o Revit interpreta e utiliza os dados inseridos.

Parâmetros inseridos como “Common Number” são genéricos e o Revit apenas os interpreta como valores numéricos simples sem unidades de medida associadas, ou seja, sem significado físico, o que significa que o Revit não sabe se esse valor numérico representa um caudal, um comprimento, área ou até uma pressão. Deste modo o Revit não realiza conversões automáticas de unidades nestes campos. Esta característica confere uma grande flexibilidade ao utilizador, mas também implica uma responsabilidade acrescida na gestão das unidades, sendo necessário garantir que todos os valores utilizados e as fórmulas aplicadas seguem um critério consistente e coerente ao longo do modelo.

Por outro lado, parâmetros associados a uma disciplina e um tipo específicos, o Revit reconhece a unidade física correspondente e permite a conversão automática de valores conforme as definições de unidades de projeto.

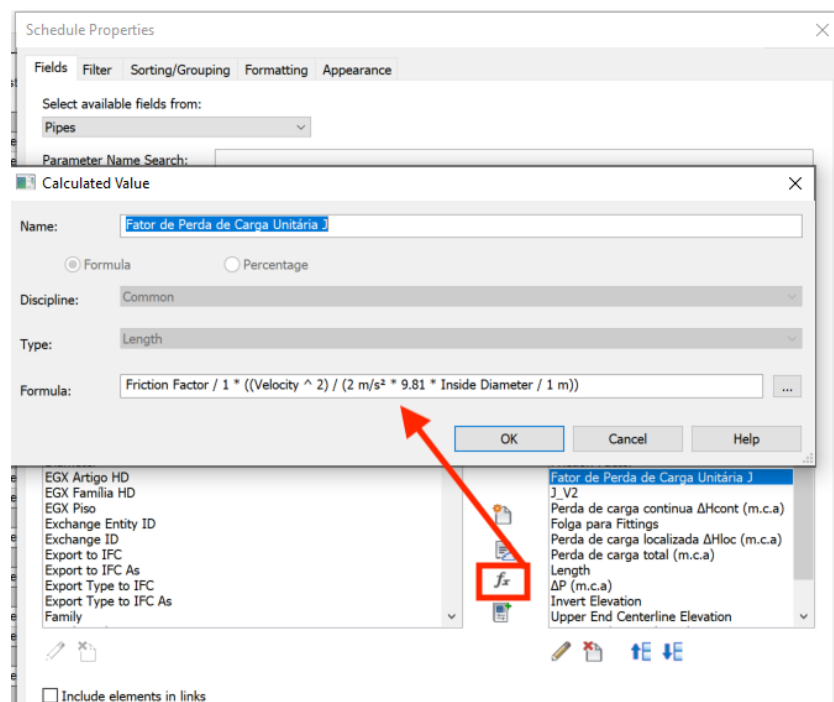


Figura 50: Inserção de Fórmulas nas Revit Schedules

A forma de o utilizador seleccionar a informação que pretende visualizar na sua Schedule é através de filtros. Neste caso o único filtro aplicado foi através do parâmetro do nome do sistema, deste modo todas as tubagens da rede aparecem na tabela, Figura 51.

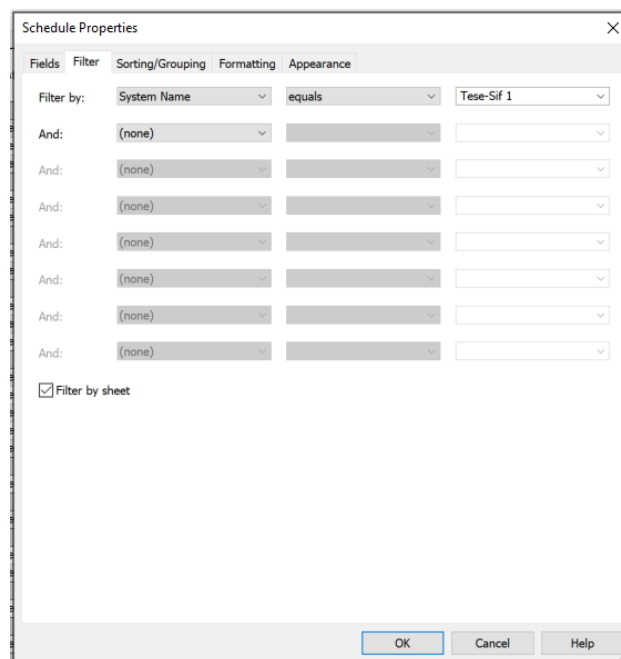


Figura 51: Filtros das Schedules

Por fim, o utilizador pode organizar a informação disposta na tabela através da opção “Sorting/ Grouping”.

Existe ainda uma opção em que o Revit soma todas as linhas de uma coluna da Schedule e apresenta o valor em baixo, esta opção é bastante útil por exemplo, quando queremos saber quantos metros de tubo foram utilizados na rede. Esta opção encontra-se ilustrada na Figura 52.

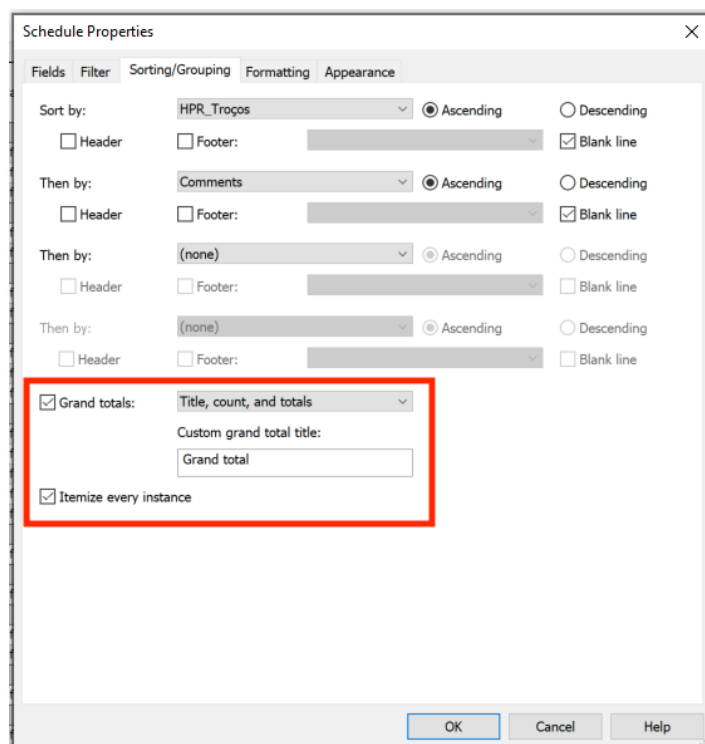


Figura 52: Sorting/Grouping

3.4.3. EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS

A rede de drenagem de águas pluviais inicialmente projetada (sistema gravítico), era composta por 4 ralos, todos com uma área de influência de 250 m². Cada ralo estava ligado a 1 tubo de queda totalizando 4 tubos de queda em toda a rede. Para a modelação da nova rede segundo o sistema sifónico, mantiveram-se estas configurações base. Apenas foram realizados alguns ajustes ao traçado da rede, de forma a adaptá-la ao sistema sifónico, como a remoção das inclinações nas tubagens horizontais. Deste modo, como está atribuído a cada ralo uma área de influência de 250 m², com base na intensidade de precipitação mencionada no ponto 3.2.1, contamos com um caudal de 8,34 L/s, em cada ralo.

No fundo, a rede resume-se a 4 ralos posicionados na cobertura que se encontram diretamente ligados a 4 tubos de queda que conduzem a água desde o piso mais elevado até ao piso – 1 (visível na Figura 53). No piso – 1, os quatro tubos de queda provenientes dos ralos da cobertura convergem para uma rede horizontal que os interliga. Esta rede está disposta de forma a conduzir as águas pluviais até um ponto comum de descarga, facilitando assim a ligação à rede pública, tal como está representado na Figura 54.

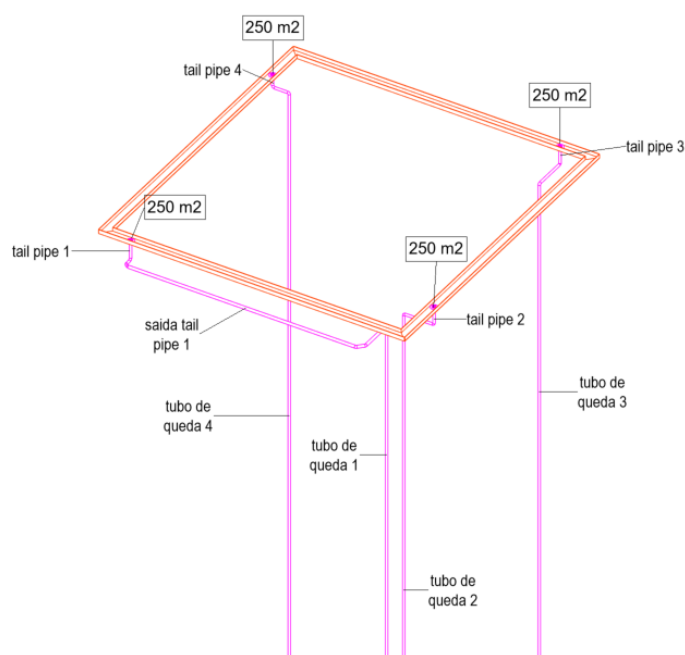


Figura 53: Parte superior da Rede de Drenagem

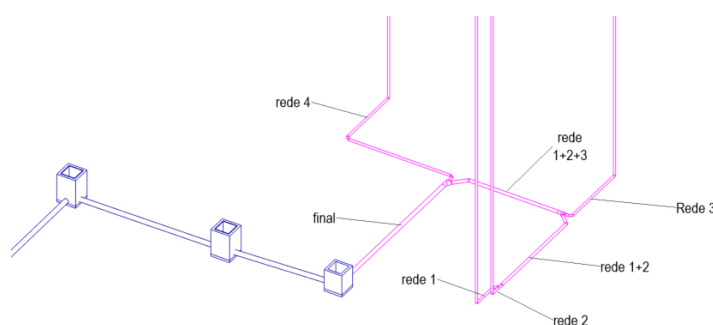


Figura 54: Parte inferior da Rede de Drenagem

Com base na Figura 53 e na Figura 54 conseguimos verificar o que foi referido anteriormente que cada um dos ralos está ligado diretamente a um tubo de queda. No piso -1, onde se interligam os troços provenientes de cada tubo de queda, contamos com 5 troços horizontais diferentes sendo eles:

- Troço que reúne o tubo de queda 1 e 2;
- Troço que apenas faz o seguimento do tubo de queda 3;
- Troço que apenas faz o seguimento do tubo de queda 4;
- Troço que reúne o troço horizontal, que contém 1 e 2, com o troço que faz o seguimento do tubo de queda 3;
- Troço final que reúne todos os outros e que faz a ligação à caixa de descompressão.

Em relação ao cálculo no Revit a Schedule ficou organizada da seguinte forma:

- 1- Como consequência do filtro aplicado a tabela apresenta todas as tubagens da rede, pois todas contém o mesmo “System Name”. Recorreu-se ainda a um parâmetro, com autoria da BIM Source, Lda chamado “HPR_Troços”, para nomear os diferentes troços da rede. Na Tabela 14

e na Tabela 15 estão apresentados os valores do Caudal de Cálculo, em cada troço da tubagem, e ainda o processo de pré-dimensionamento.

Tabela 14: Pré-Dimensionamento - Troços Horizontais

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
System Name	Referência	Caudal de Cálculo (L/s)	HPR_Troços	Pré-dimensionamento			Diametro Comercial	Inside Diameter	Velocidade m/s
	Comments			seção de cálculo	Raio de cálculo	Diametro de cálculo			
Tese-Sif 1	horizontal	33.37	final	16.69 mm	72.90 mm	145.79 mm	160.00 mm	153.60 mm	1.80
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	16.69	rede 1+2	8.34 mm	51.55 mm	103.09 mm	110.00 mm	105.80 mm	1.90
Tese-Sif 1	horizontal	16.69	rede 1+2	8.34 mm	51.55 mm	103.09 mm	110.00 mm	105.80 mm	1.90
Tese-Sif 1	horizontal	25.03	rede 1+2+3	12.51 mm	63.13 mm	126.26 mm	125.00 mm	120.80 mm	2.18
Tese-Sif 1	horizontal	25.03	rede 1+2+3	12.51 mm	63.13 mm	126.26 mm	125.00 mm	120.80 mm	2.18
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 2	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	Rede 3	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	Rede 3	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	Rede 3	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	rede 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	saída tail pipe 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	110.00 mm	105.80 mm	0.95
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	saída tail pipe 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	110.00 mm	105.80 mm	0.95
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	saída tail pipe 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	110.00 mm	105.80 mm	0.95
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	saída tail pipe 2	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	saída tail pipe 3	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	saída tail pipe 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	tail pipe 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	horizontal	8.34	tail pipe 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43

Tabela 15: Pré-Dimensionamento - Troços Verticais

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
System Name	Referência	Caudal de Cálculo (L/s)	HPR_Troços	Pré-dimensionamento			Diametro Comercial	Inside Diameter	Velocidade m/s
	Comments			seção de cálculo	Raio de cálculo	Diametro de cálculo			
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tail pipe 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tail pipe 2	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tail pipe 3	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tail pipe 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tubo de queda 1	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tubo de queda 2	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tubo de queda 3	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43
Tese-Sif 1	vertical	8.34	tubo de queda 4	4.17 mm	36.45 mm	72.90 mm	90.00 mm	86.20 mm	1.43

- 2- Na Tabela 16 e na Tabela 17 está representado o cálculo da perda de carga ao longo da tubagem, bem como o cálculo da diferença de pressão em cada um dos troços.

Tabela 16: Cálculo da Perda de Carga e Variação de pressão - Troços Horizontais

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Calculo Perda de Carga (m.c.a)							Comprimento m	ΔP (m.c.a)	Cotas desnível montante/jusante
Reynolds Number	Roughness	Friction Factor	Fator de Perda de Carga Unitária J	Perda de carga contínua ΔH_{cont} (m.c.a)	Perda de carga localizada ΔH_{loc} (m.c.a)	Perda de carga total (m.c.a)			
294604.02582	0.007 mm	0.0148	0.019	0.148	0.0222	0.170	7.60	-0.169986	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.029	0.0043	0.033	1.15	-0.033279	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.002	0.0003	0.003	0.09	-0.002581	0.00
214415.947786	0.007 mm	0.01578	0.034	0.162	0.0243	0.186	4.78	-0.186166	0.00
214415.947786	0.007 mm	0.01578	0.034	0.019	0.0029	0.022	0.57	-0.022347	0.00
220953.019365	0.007 mm	0.015538	0.011	0.046	0.0069	0.053	4.03	-0.05316	0.00
220953.019365	0.007 mm	0.015538	0.011	0.008	0.0012	0.009	0.70	-0.009222	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.009	0.0014	0.010	0.36	-0.010361	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.076	0.0115	0.088	3.03	-0.087887	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.003	0.0004	0.003	0.10	-0.002899	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.005	0.0007	0.006	0.20	-0.005685	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.075	0.0112	0.086	2.97	-0.086122	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.003	0.0005	0.004	0.14	-0.003998	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.116	0.0174	0.134	4.60	-0.133507	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.002	0.0004	0.003	0.10	-0.002864	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.005	0.0008	0.006	0.20	-0.005853	0.00
107207.973893	0.007 mm	0.017877	0.010	0.089	0.0134	0.103	9.30	-0.102535	0.00
107207.973893	0.007 mm	0.017877	0.010	0.003	0.0004	0.003	0.30	-0.003325	0.00
107207.973893	0.007 mm	0.017877	0.010	0.013	0.0019	0.014	1.31	-0.014416	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.029	0.0043	0.033	1.14	-0.032973	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.033	0.0049	0.037	1.29	-0.037403	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.014	0.0021	0.016	0.54	-0.015752	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.005	0.0007	0.005	0.19	-0.005377	0.00
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.003	0.0004	0.003	0.10	-0.00304	0.00

Tabela 17: Cálculo da Perda de Carga e Variação da Pressão - Troços Verticais

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Calculo Perda de Carga (m.c.a)							Comprimento m	ΔP (m.c.a)	Cotas desnível montante/jusante
Reynolds Number	Roughness	Friction Factor	Fator de Perda de Carga Unitária J	Perda de carga contínua ΔH_{cont} (m.c.a)	Perda de carga localizada ΔH_{loc} (m.c.a)	Perda de carga total (m.c.a)			
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.015	0.0023	0.017	0.60	0.580912	0.60
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.015	0.0022	0.017	0.58	0.55918	0.58
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.015	0.0022	0.017	0.58	0.559179	0.58
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	0.008	0.0011	0.009	0.30	0.29264	0.30
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	1.719	0.2579	1.977	68.06	66.086715	68.06
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	1.721	0.2581	1.979	68.13	66.153876	68.13
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	1.721	0.2581	1.979	68.13	66.153877	68.13
130974.560877	0.007 mm	0.017298	0.025	1.726	0.2590	1.985	68.36	66.371104	68.36

Tal como esperado através da Tabela 16 e da Tabela 17, conseguimos observar que em tubagens horizontais a diferença de pressão é negativa e em tubagens verticais a diferença de pressão é positiva.

Todas as fórmulas presentes na Revit Schedule foram previamente mencionadas no ponto 2.2. Com exceção do cálculo da perda de carga localizada, que tal como na folha de cálculo Excel, admitiu-se um acréscimo estimado correspondente a 15% do comprimento do troço.

Após o cálculo da rede é necessário proceder-se à validação do sistema. Esta verificação realiza-se através da validação do caminho crítico. O caminho crítico é o percurso mais desfavorável que o fluido tem de percorrer, ou seja, o percurso onde o fluido ira sofrer a maior perda de carga. Neste caso

corresponde à rede 1. De forma a facilitar o estudo do caminho crítico no Revit, o utilizador necessita seleccionar o troço correspondente e associá-lo ao parâmetro “Critical Path”, Figura 55. De seguida deve filtrar os dados da Schedule segundo esse parâmetro. Deste modo apenas o troço seleccionado irá estar visível na Schedule.

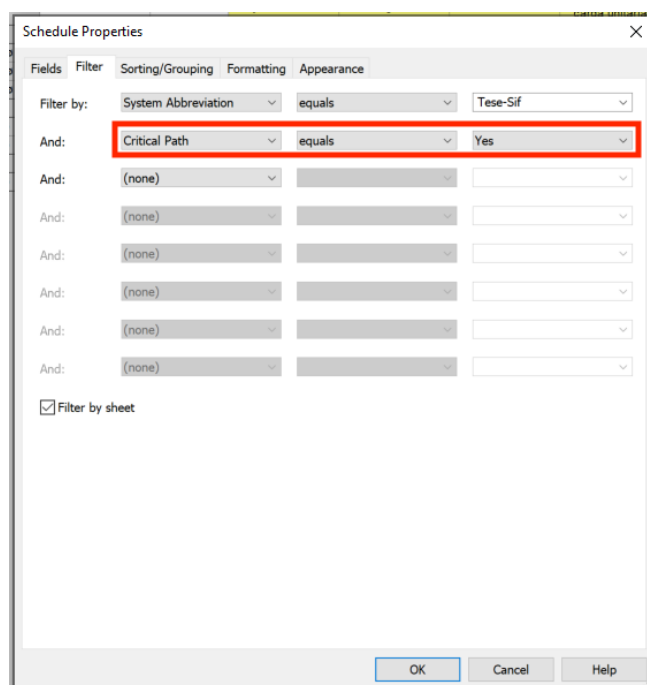


Figura 55: Filtragem pelo caminho crítico

Na rede 1 foram identificados dois “momentos” críticos, sendo o primeiro no troço horizontal superior (Figura 56) e o segundo no troço horizontal inferior (Figura 57).

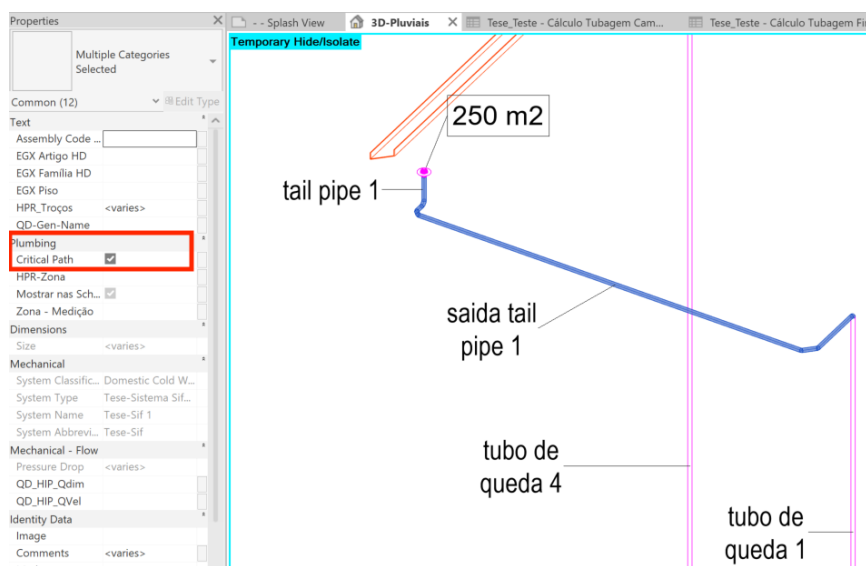


Figura 56: Momento Crítico superior

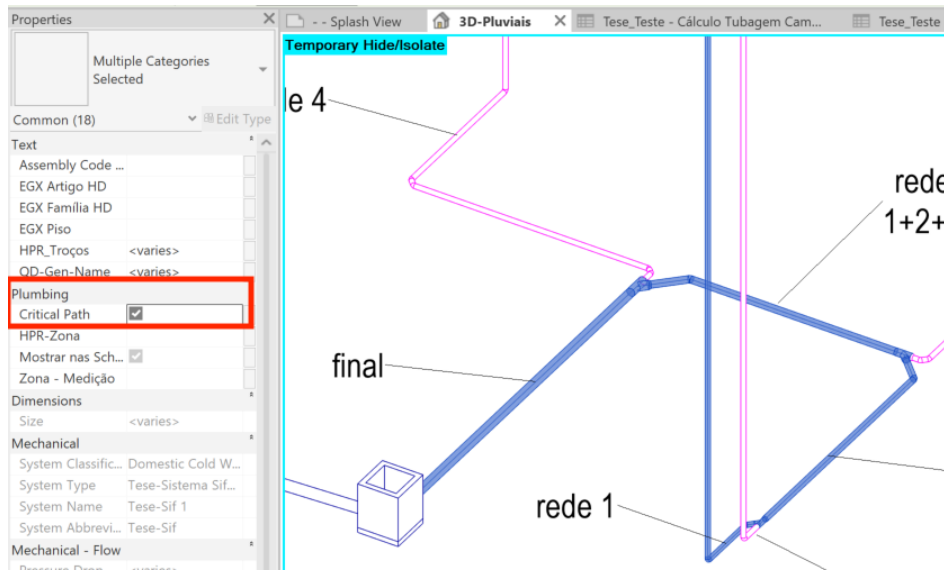


Figura 57: Momento Crítico Inferior

Após a associação do parâmetro prosseguimos para a verificação se de facto a diferença de pressão é superior à perda de carga em cada um dos momentos críticos. Os resultados encontram-se representados na Tabela 18 e na Tabela 19.

Tabela 18: Análise do Primeiro Momento Crítico

L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Calculo perda de carga (m.c.a)					Comprimento m	ΔP (m.c.a)	Cotas desnível montante/jusante	Critical Path	HPR_Troços
Friction Factor	Fator de perda de carga unitaria J	Perda de carga continua ΔH_{cont} (m.c.a)	Perda de carga localizada ΔH_{loc} (m.c.a)	Perda de carga total (m.c.a)					
0.017877	0.009591	0.089161	0.013374	0.102535	9.30	-0.102535	0.00	☒	saida tail pipe 1
0.017877	0.009591	0.002891	0.000434	0.003325	0.30	-0.003325	0.00	☒	saida tail pipe 1
0.017877	0.009591	0.012536	0.00188	0.014416	1.31	-0.014416	0.00	☒	saida tail pipe 1
0.017298	0.025256	0.004676	0.000701	0.005377	0.19	-0.005377	0.00	☒	tail pipe 1
0.017298	0.025256	0.002644	0.000397	0.00304	0.10	-0.00304	0.00	☒	tail pipe 1
0.017298	0.025256	0.015111	0.002267	0.017377	0.60	0.580912	0.60	☒	tail pipe 1
				0.146071	11.79	0.452218	0.60		

Tabela 19: Análise do Segundo Momento Crítico

L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Calculo perda de carga (m.c.a)					Comprimento m	ΔP (m.c.a)	Cotas desnível montante/jusante	Critical Path	HPR_Troços
Friction Factor	Fator de perda de carga unitaria J	Perda de carga continua ΔH_{cont} (m.c.a)	Perda de carga localizada ΔH_{loc} (m.c.a)	Perda de carga total (m.c.a)					
0.0148	0.019441	0.147814	0.022172	0.169986	7.60	-0.169986	0.00	☒	final
0.017298	0.025256	0.028938	0.004341	0.033279	1.15	-0.033279	0.00	☒	rede 1
0.017298	0.025256	0.002244	0.000337	0.002581	0.09	-0.002581	0.00	☒	rede 1
0.01578	0.033864	0.161883	0.024283	0.186166	4.78	-0.186166	0.00	☒	rede 1+2
0.01578	0.033864	0.019432	0.002915	0.022347	0.57	-0.022347	0.00	☒	rede 1+2
0.015538	0.011481	0.046226	0.006934	0.05316	4.03	-0.05316	0.00	☒	rede 1+2+3
0.015538	0.011481	0.008019	0.001203	0.009222	0.70	-0.009222	0.00	☒	rede 1+2+3
0.017298	0.025256	1.719032	0.257855	1.976887	68.06	66.086715	68.06	☒	tubo de queda 1
				2.453627	86.98	65.609975	68.06		

Com base na Tabela 18 e na Tabela 19 concluímos que a diferença de pressão é superior à perda de carga ao longo da tubagem, apesar de no primeiro momento a diferença entre a pressão e a perda de carga não ser muito notória é na mesma possível o escoamento. No segundo o momento constatamos uma diferença de pressão muito superior à perda de carga, isto deve ao facto de que o fluido sofrer de uma queda de cerca de 70 metros o que permite um enorme acúmulo de pressão.

3.4.4. ARMAZÉM INDUSTRIAL

Quando iniciamos o trabalho no segundo modelo não é necessário voltar a realizar todas as configurações mencionadas nos pontos 3.4.2.1 e 3.4.2.2.

Quanto às configurações realizadas à família dos ralos basta utilizarmos a mesma família neste segundo modelo. Isto porque as famílias de objetos do Revit são ficheiros independentes, ou seja, são criadas, editadas e guardadas separadamente do projeto onde serão inseridas. Desta forma, as famílias de objetos não ficam restringidas a um único modelo e podem sempre ser reutilizadas em múltiplos projetos.

Em relação ao tipo de sistema de tubagens utilizado, podemos importá-lo de um projeto para o outro e ficamos com a garantia que são preservadas todas as suas configurações, o que é essencial para que a Schedule funcione corretamente. O processo de importação está ilustrado na Figura 58.

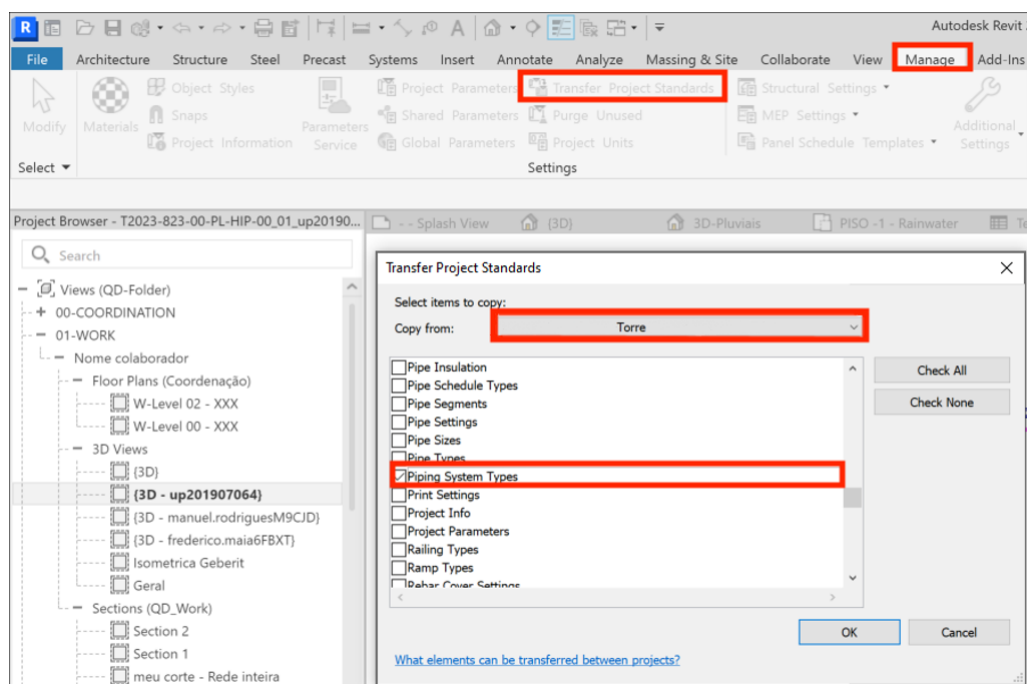


Figura 58: Importação dos Padrões do Projeto Inicial

Por fim, também não é necessário voltar a realizar todo o processo de criação de uma nova Schedule mencionado no ponto 2.4.2.5, nem mesmo voltar a criar os parâmetros personalizados que adicionamos a Schedule no modelo anterior. As Revit Schedules são também possíveis de importar de uns projetos para os outros, o que otimiza significativamente o tempo de trabalho e garante consistência entre diferentes modelos.

Posto isto, neste segundo modelo o apenas necessitamos de modelar a rede de drenagem, atribuir os parâmetros específicos deste novo projeto (área de influência, intensidade de precipitação e coeficiente de escoamento) e realizar os ajustes necessários com base nos resultados apresentados na Schedule.

A isométrica da rede de drenagem bem como as tabelas respectivas ao dimensionamento deste modelo serão apresentadas no ponto 4.1.

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. REDE PLUVIAL FINAL

A rede final, tal como a rede inicial (rede de drenagem segundo o sistema gravítico), foi modelada tendo em conta o mesmo número ralo e as mesmas áreas de influência. Para efeitos de estudo e comparação, foram projetadas duas soluções para a rede sifônica do modelo dois. A primeira solução divide a drenagem em duas redes cada uma com um tubo de queda ligado apenas a 3 ralos, a segunda consiste num único tubo de queda ligado diretamente aos 6 ralos da cobertura. A Figura 59 e a Figura 60 apresentam ambas as opções projetadas.

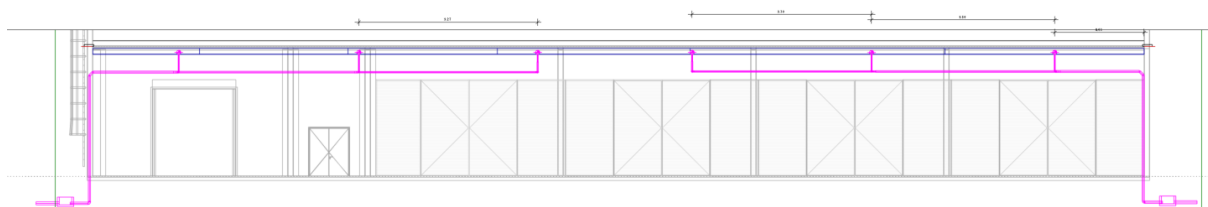


Figura 59: Solução 1

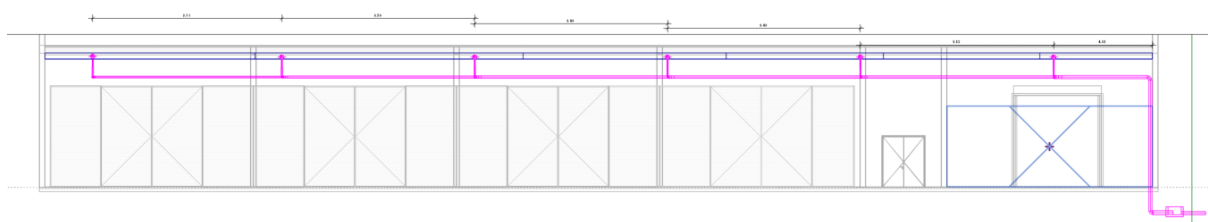


Figura 60: Solução 2

As condições para o pré-dimensionamento de ambas as soluções foram as seguintes:

- Velocidade mínima = 0,7 m/s (autolimpeza)
- Velocidade mínima nos tail pipes = 1,5 m/s
- Velocidade mínima nos tubos de queda = 2,0 m/s
- Foram utilizados ralos da linha da Geberit (diâmetro à saída do ralo 56 mm)

Estas condições foram inseridas na funcionalidade do Revit mencionada no ponto 3.4.2.4 de modo a dar-se início ao dimensionamento de ambas as soluções sifônicas para o segundo caso de estudo.

4.1.1. SOLUÇÃO 1

Tendo em conta as condições mencionadas anteriormente chegamos às seguintes configurações, representadas na Figura 61 e na Figura 62:

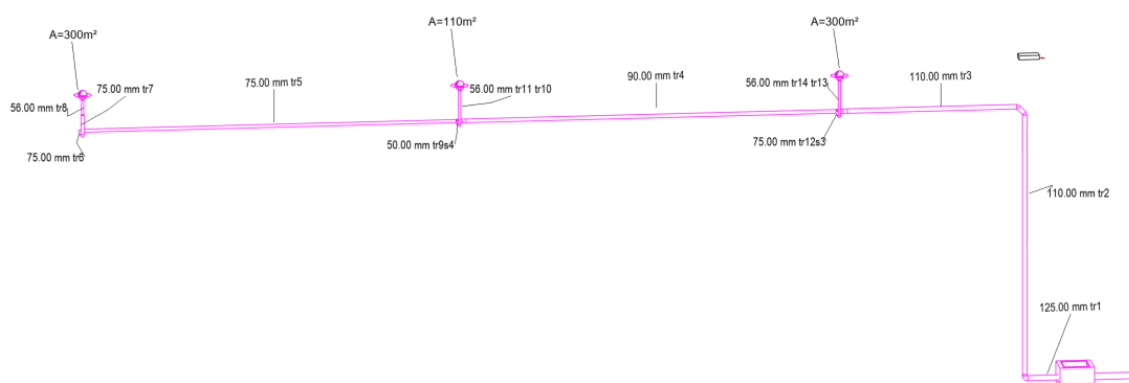


Figura 61: Configuração 1

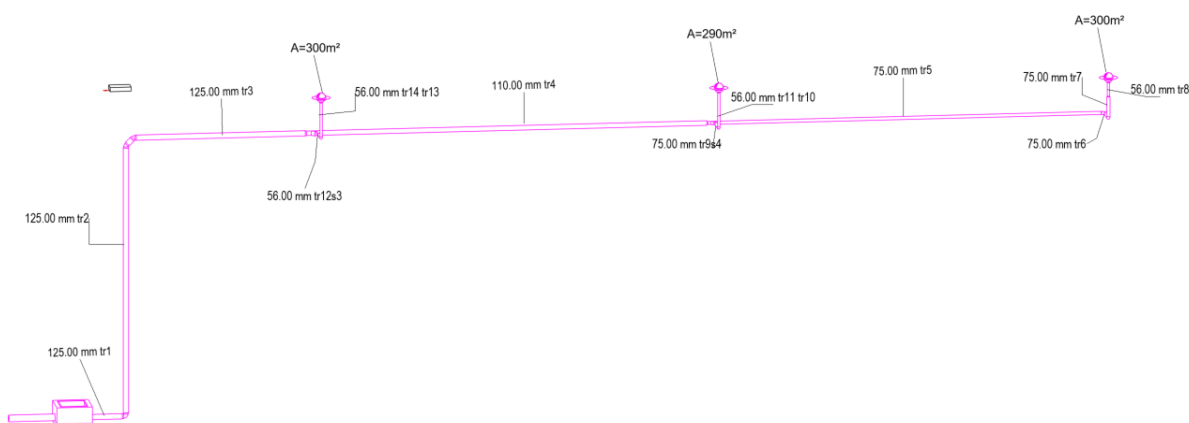


Figura 62: Configuração 2

Através da Figura 61 e da Figura 62 observamos que a segunda confirmação é uma rede que vai estar submetida a um caudal superior. Isto porque, estão atribuídas áreas de influência maiores aos ralos desta configuração

A Tabela 20 e a Tabela 21 apresentam os resultados obtidos no dimensionamento da configuração 1 e da configuração 2, respectivamente.

Tabela 20: Dimensionamento configuração 1

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Referência	Caudal de Cálculo (L/s)	Outside Diameter	Inside Diameter	Velocidade m/s	Comprimento m	Cálculo Perda de Carga (m.c.a)			ΔP (m.c.a)
Comments						Perda de carga contínua ΔH_{cont} (m.c.a)	Perda de carga localizada ΔH_{loc} (m.c.a)	Perda de carga total (m.c.a)	
tr1	23.71	125.00 mm	115.20 mm	2.28	0.93	0.033	0.0049	0.038	-0.037526
tr2	23.71	110.00 mm	101.40 mm	2.94	6.48	0.425	0.0637	0.488	5.995969
tr2	23.71	110.00 mm	101.40 mm	2.94	0.20	0.013	0.0020	0.015	0.128078
tr3	23.71	110.00 mm	101.40 mm	2.94	4.16	0.273	0.0409	0.314	-0.313574
tr4	13.69	90.00 mm	83.00 mm	2.53	9.10	0.577	0.0865	0.663	-0.663012
tr5	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.08	0.007	0.0011	0.009	-0.008533
tr5	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	9.15	0.804	0.1206	0.924	-0.924427
tr6	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.46	0.040	0.0061	0.046	-0.046415
tr7	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.48	0.042	0.0063	0.048	0.42885
tr8	10.02	56.00 mm	50.00 mm	5.10	0.36	0.154	0.0230	0.177	0.183399
tr9s4	3.67	50.00 mm	44.00 mm	2.42	0.41	0.051	0.0077	0.059	-0.05904
tr9s4	3.67	56.00 mm	50.00 mm	1.87	0.01	0.001	0.0001	0.001	-0.001036
tr11 tr10	3.67	56.00 mm	50.00 mm	1.87	0.84	0.057	0.0085	0.065	0.77872
tr12s3	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.39	0.035	0.0052	0.040	-0.039715
tr12s3	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.03	0.002	0.0004	0.003	-0.002762
tr14 tr13	10.02	56.00 mm	50.00 mm	5.10	0.86	0.368	0.0551	0.423	0.438916
					33.96			3.313	5.857892

Tabela 21: Dimensionamento Configuração 2

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Referência	Caudal de Cálculo (L/s)	Outside Diameter	Inside Diameter	Velocidade m/s	Comprimento m	Cálculo Perda de Carga (m.c.a)			ΔP (m.c.a)
Comments						Perda de carga contínua ΔH_{cont} (m.c.a)	Perda de carga localizada ΔH_{loc} (m.c.a)	Perda de carga total (m.c.a)	
tr1	29.73	125.00 mm	115.20 mm	2.85	0.91	0.048	0.007	0.05568	-0.055679
tr2	29.73	125.00 mm	115.20 mm	2.85	6.44	0.343	0.051	0.39444	6.043091
tr3	29.73	125.00 mm	115.20 mm	2.85	4.03	0.215	0.032	0.24723	-0.247229
tr3	29.73	125.00 mm	115.20 mm	2.85	0.15	0.008	0.001	0.00907	0.095627
tr4	19.71	110.00 mm	101.40 mm	2.44	9.30	0.433	0.065	0.49829	-0.498286
tr5	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.08	0.007	0.001	0.00853	-0.008533
tr5	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	9.22	0.810	0.121	0.93141	-0.931407
tr6	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.46	0.040	0.006	0.04642	-0.046415
tr7	10.02	75.00 mm	69.00 mm	2.68	0.48	0.042	0.006	0.04821	0.42885
tr8	10.02	56.00 mm	50.00 mm	5.10	0.32	0.138	0.021	0.15997	0.165091
tr9s4	9.69	75.00 mm	69.00 mm	2.59	0.43	0.035	0.005	0.04064	-0.040641
tr9s4	9.69	75.00 mm	69.00 mm	2.59	0.04	0.003	0.001	0.00400	-0.003861
tr11 tr10	9.69	56.00 mm	50.00 mm	4.93	0.82	0.328	0.049	0.37721	0.441848
tr12s3	10.02	56.00 mm	50.00 mm	5.10	0.40	0.171	0.026	0.19705	-0.197046
tr12s3	10.02	56.00 mm	50.00 mm	5.10	0.05	0.020	0.003	0.02350	-0.0235
tr14 tr13	10.02	56.00 mm	50.00 mm	5.10	0.83	0.353	0.053	0.40548	0.421085
					33.96			3.44613	5.542995

Tal como foi referido anteriormente, a configuração 2 está submetida a um caudal superior de 29,73 L/s, quando comparado à configuração 1 que apenas conta com 23,7 L/s. Apesar disso, em ambas as configurações recorreremos ao mesmo intervalo de diâmetros compreendidos entre 56mm e 125mm. Em relação ao cálculo da velocidade através da equação (21), obtemos valores entre os 2,0 e os 5 m/s, o que está de acordo com as condições mencionadas anteriormente. Verificamos ainda que o valor da perda de carga é inferior ao valor da diferença de pressão o que torna possível o escoamento.

4.1.2. SOLUÇÃO 2

A solução 2 encontra-se representada na Figura 63 e na Figura 64. Esta, tal como mencionado anteriormente, esta solução foi projetada com o intuito de conduzir a água apenas para um tubo de queda.

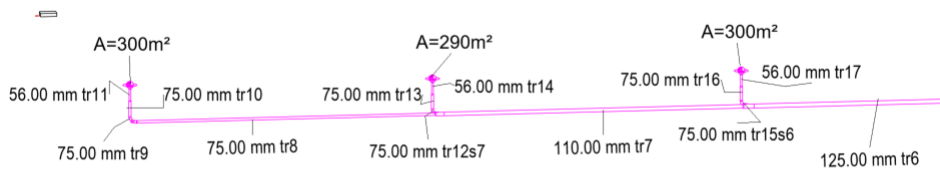


Figura 63: Parte inicial da solução 2

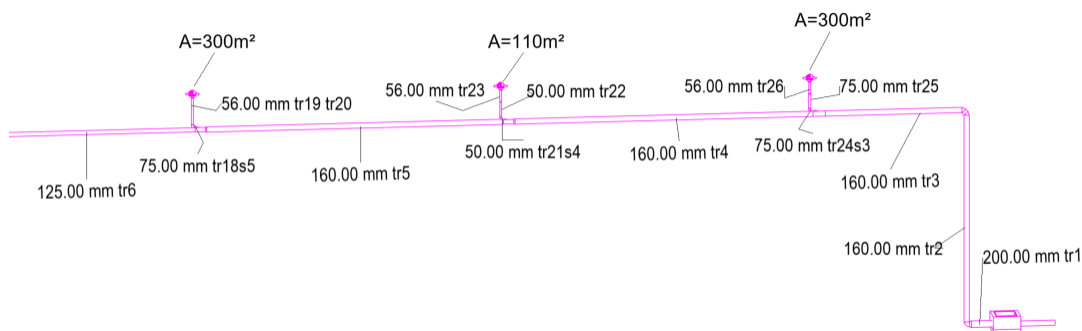


Figura 64: Parte final solução 2

O facto de toda a água captada pelos 6 ralos ser conduzida apenas para um tubo de queda, implica que esta rede ficará submetida a um caudal muito superior. O cálculo desta rede encontra-se apresentado na Tabela 22.

Tabela 22: Dimensionamento solução 2

Referência Comments	Caudal de Cálculo (L/s)	Inside Diameter	Outside Diameter	Velocidade m/s	Comprimento m	Cálculo Perda de Carga (m.c.a.)			ΔP (m.c.a.)
						Perda de carga contínua ΔHcont (m.c.a.)	Perda de carga localizada ΔHloc (m.c.a.)	Perda de carga total (m.c.a.)	
tr1	53.44	187.60 mm	200.00 mm	1.93	0.98	0.014	0.0021	0.016	-0.016473
tr2	53.44	147.60 mm	160.00 mm	3.12	6.45	0.303	0.0454	0.348	6.105122
tr2	53.44	147.60 mm	160.00 mm	3.12	0.09	0.004	0.0007	0.005	0.061444
tr3	53.44	147.60 mm	160.00 mm	3.12	4.21	0.197	0.0296	0.227	-0.227112
tr4	43.42	147.60 mm	160.00 mm	2.54	9.18	0.293	0.0440	0.337	-0.337192
tr5	39.75	147.60 mm	160.00 mm	2.32	9.10	0.247	0.0371	0.284	-0.284167
tr6	29.73	115.20 mm	125.00 mm	2.85	9.18	0.489	0.0734	0.563	-0.562659
tr7	19.71	101.40 mm	110.00 mm	2.44	9.18	0.428	0.0641	0.492	-0.49178
tr8	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.05	0.004	0.0007	0.005	-0.00511
tr8	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	9.16	0.805	0.1208	0.926	-0.926134
tr9	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.43	0.038	0.0057	0.044	-0.043693
tr10	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.48	0.042	0.0063	0.048	0.42885
tr11	10.02	50.00 mm	56.00 mm	5.10	0.36	0.154	0.0230	0.177	0.183399
tr12a7	9.69	69.00 mm	75.00 mm	2.59	0.40	0.033	0.0050	0.038	-0.03839
tr12a7	9.69	69.00 mm	75.00 mm	2.59	0.05	0.004	0.0006	0.004	-0.004494
tr13	9.69	69.00 mm	75.00 mm	2.59	0.44	0.036	0.0054	0.042	0.395559
tr14	9.69	50.00 mm	56.00 mm	4.93	0.36	0.144	0.0216	0.166	0.194204
tr15a6	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.39	0.034	0.0052	0.040	-0.039513
tr15a6	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.01	0.001	0.0001	0.001	-0.001043
tr16	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.43	0.037	0.0056	0.043	0.383189
tr17	10.02	50.00 mm	56.00 mm	5.10	0.36	0.152	0.0229	0.175	0.182125
tr18a5	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.37	0.033	0.0049	0.037	-0.037402
tr18a5	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.01	0.000	0.0001	0.001	-0.00039
tr19 tr20	10.02	50.00 mm	56.00 mm	5.10	0.82	0.351	0.0526	0.403	0.418856
tr21a4	3.67	44.00 mm	50.00 mm	2.42	0.41	0.051	0.0077	0.059	-0.05879
tr21a4	3.67	44.00 mm	50.00 mm	2.42	0.03	0.004	0.0005	0.004	-0.003849
tr22	3.67	44.00 mm	50.00 mm	2.42	0.45	0.056	0.0085	0.065	0.385488
tr23	3.67	50.00 mm	56.00 mm	1.87	0.36	0.024	0.0036	0.028	0.332131
tr24a3	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.33	0.029	0.0043	0.033	-0.032973
tr24a3	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.04	0.003	0.0005	0.004	-0.003466
tr25	10.02	69.00 mm	75.00 mm	2.68	0.43	0.038	0.0057	0.044	0.388448
tr26	10.02	50.00 mm	56.00 mm	5.10	0.36	0.152	0.0228	0.175	0.181616
					64.90		4.834	6.525802	

Após analisar a Tabela 22 percebemos que, ao contrário da solução 1, esta solução já conta com uma maior divergência no que toca aos diâmetros das tubagens, estes variam entre os 50mm e os 200mm. Isto deve-se ao facto de a rede estar sujeita a um valor de caudal muito superior, tal como já referimos. Quanto à velocidade de escoamento desta rede obtemos valores dentro do mesmo intervalo da solução 1, (desde os 2 aos 5 m/s).

Comparando ambas as soluções chegamos à conclusão de que, se optarmos pela solução 1 ficamos com uma rede mais simples, sujeita a uma menor solicitação, mas a água é conduzida para duas fachadas opostas, o que irá ter impacto no planeamento das redes enterradas, algo que não foi tido em conta neste trabalho. Por outro lado, se a opção escolhida for a número dois, ficamos com uma rede que conduz a água da chuva apenas para uma fachada. No entanto, trata-se de uma rede sujeita a uma solicitação muito superior o que irá exigir um sistema de fixação mais complexo e provavelmente uma instalação mais cuidadosa. Em relação aos metros de tubagem não se verificam muitas diferenças, pois a solução 1 conta com 67,92 metros de tubagem, enquanto que a solução 2 conta com 64,90 metros de tubagem.

4.1.3. VALIDAÇÃO DO CAMINHO CRÍTICO

À semelhança do que foi feito para o primeiro modelo, procedemos à validação do caminho crítico para ambas as soluções desenvolvidas para o segundo caso de estudo. O caminho intitulado como caminho crítico, para ambas as soluções, é o percurso desde o ralo mais afastado do tubo de queda até ao ponto de descarga, isto porque é onde se espera que o fluido sofra a maior perda de carga devido à sua extensão.

Na Tabela 23 e na Tabela 24 estão apresentados os resultados da primeira solução referentes ao caminho crítico da configuração 1 e da configuração 2, respetivamente.

Tabela 23: Caminho Crítico, Configuração 1

R	S	T	U	V
Referência	Calculo perda de ca	Comprimento m	ΔP (m.c.a)	Critical Path
Comments	Perda de carga total (m.c.a)			
tr1	0.037526	0.93	-0.037526	☒
tr2	0.488492	6.48	5.995969	☒
tr2	0.015272	0.20	0.128078	☒
tr3	0.313574	4.16	-0.313574	☒
tr4	0.663012	9.10	-0.663012	☒
tr5	0.008533	0.08	-0.008533	☒
tr5	0.924427	9.15	-0.924427	☒
tr6	0.046415	0.46	-0.046415	☒
tr7	0.048213	0.48	0.42885	☒
tr8	0.176601	0.36	0.183399	☒
	2.722065	31.41	4.742809	

Tabela 24: Caminho Critico, Configuração 2

R	S	T	U	V
Referência	Calculo perda de ca	Comprimento m	ΔP (m.c.a)	Critical Path
Comments	Perda de carga total (m.c.a)			
tr1	0.055679	0.91	-0.055679	☒
tr2	0.394442	6.44	6.043091	☒
tr3	0.247229	4.03	-0.247229	☒
tr3	0.009072	0.15	0.095627	☒
tr4	0.498286	9.30	-0.498286	☒
tr5	0.008533	0.08	-0.008533	☒
tr5	0.931407	9.22	-0.931407	☒
tr6	0.046415	0.46	-0.046415	☒
tr7	0.048213	0.48	0.42885	☒
tr8	0.158972	0.32	0.165091	☒
	2.398248	31.39	4.94511	

Com base na análise da Tabela 23 e da Tabela 24 confirmamos que o valor da perda de carga é inferior ao valor da diferença de pressão, ou seja, o escoamento é possível.

Na Tabela 25 constam os valores obtidos para o cálculo do caminho crítico da solução 2.

Tabela 25: Caminho Crítico, Solução 2

R	S	T	U	V	W
Referência	Calculo perda de ca	Comprimento	ΔP (m.c.a)	Cotas	Critical Path
Comments	Perda de carga total (m.c.a)	m		desnível montante/jusante	
tr1	0.016473	0.98	-0.016473	0.00	☒
tr2	0.348066	6.45	6.105122	6.45	☒
tr2	0.005074	0.09	0.061444	0.07	☒
tr3	0.227112	4.21	-0.227112	0.00	☒
tr4	0.337192	9.18	-0.337192	0.00	☒
tr5	0.284167	9.10	-0.284167	0.00	☒
tr6	0.562659	9.18	-0.562659	0.00	☒
tr7	0.49178	9.18	-0.49178	0.00	☒
tr8	0.00511	0.05	-0.00511	0.00	☒
tr8	0.926134	9.16	-0.926134	0.00	☒
tr9	0.043693	0.43	-0.043693	0.00	☒
tr10	0.048213	0.48	0.42885	0.48	☒
tr11	0.176601	0.36	0.183399	0.36	☒
	3.472274	58.87	3.884494	7.36	

Através da Tabela 25 confirmamos que, também para a solução 2, é possível o escoamento. Porém, enquanto a diferença entre o valor da perda de carga e da diferença de pressão para a solução anterior era de 2 m.c.a, neste caso a diferença é de apenas 0,4 m.c.a. Algo expectável, pois a extensão da segunda solução é cerca do dobro da extensão de ambas as configurações da primeira solução.

4.2. GEBERIT PLUVIA

Tal como foi mencionado anteriormente, durante o desenvolvimento deste trabalho entrou-se em contacto com a empresa Geberit. O objetivo do contacto com esta empresa era realizar uma comparação entre os resultados obtidos no Revit com os resultados de uma empresa especializada neste tipo de sistemas de drenagem. Desta forma, ambas as soluções foram partilhadas com a empresa.

Os engenheiros da Geberit realizaram o dimensionamento de ambas as soluções com base nos seguintes parâmetros: intensidade de precipitação: 0,0334 L/s.m², período de retorno de 10 anos, duração da chuvada de 5 min, (iguais ao utilizados no dimensionamento no Revit). Porém, não tiveram em conta as áreas de influência pré-estabelecidas, em vez disso, estabeleceram que cada ralo ficaria responsável pela mesma área de influência. Assim sendo foi realizada a média da seguinte forma:

$$\frac{\Sigma \text{ areas de influencia dos 6 ralos}}{6} = \frac{300 + 300 + 290 + 300 + 110 + 300}{6} = 266,67 \text{ m}^2$$

Logo, com base numa área de influência de 266,67 m² e uma intensidade de precipitação de 0,0334 L/s.m², resultou um caudal de 8,9 L/s $\approx$ 9,0 L/s em cada ralo.

- Para a 1ª solução a Geberit apresentou os seguintes resultados

Na solução em que estava previsto o escoamento se dividir em duas redes (cada uma com 3 ralos ligados a 1 tubo de queda), a sua configuração resultou em duas redes simétricas. Isto aconteceu porque todos os ralos estão sujeitos ao mesmo caudal de 9,0L/s. A Figura 65 apresenta a isométrica da solução 1 e a Tabela 26 os resultados obtidos pela empresa.

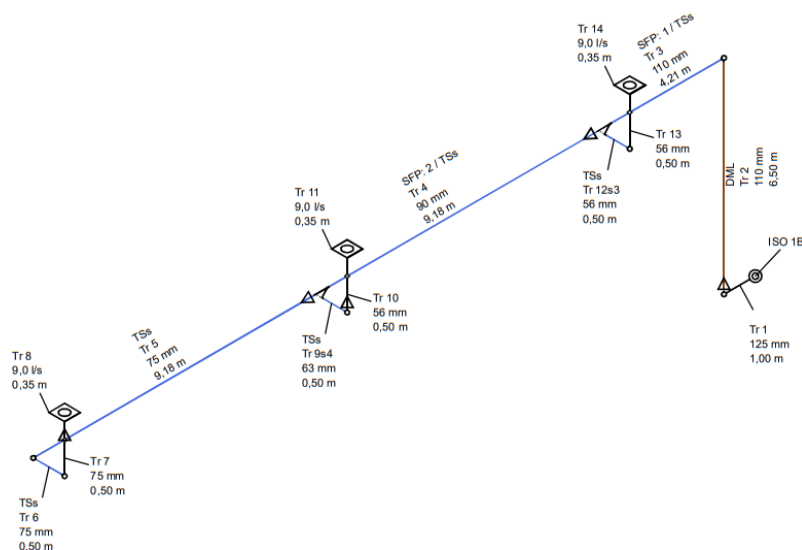


Figura 65: Isométrica configuração 1, Geberit

Tabela 26: Dimensionamento Geberit solução 1

Considerado para o cálculo:

Tipo	Tr	d [mm]	L [m]	H [m]	V nom [l/s]	V [l/s]	v [m/s]	Zeta	L.R+Z [mbar]	p out [mbar]	Ψ [%]
	1	125	1,00	-	27,1	27,1	3,3	1,0	49	-0	79
↓	2	110	6,50	6,50	27,1	27,1	4,3	0,4	93	-23	79
	3	110	4,21	-	27,1	27,1	4,3	0,3	66	-432	79
	4	90	9,18	-	18,1	18,1	4,2	0,1	129	-366	79
	5	75	9,18	-	9,0	9,0	3,0	0,2	90	-203	80
	6	75	0,50	-	9,0	9,0	3,0	0,3	16	-113	80
	7	75	0,50	0,50	9,0	9,0	3,0	0,3	16	-98	80
⬇	8	56	0,35	0,35	9,0	9,0	5,8	0,7	112	-217	80
	9s4	63	0,50	-	9,0	9,0	4,5	0,9	81	-245	79
	10	56	0,50	0,50	9,0	9,0	5,8	0,4	69	-219	79
⬇	11	56	0,35	0,35	9,0	9,0	5,8	0,5	82	-189	79
	12s3	56	0,50	-	9,0	9,0	5,9	1,4	213	-431	78
	13	56	0,50	0,50	9,0	9,0	5,9	0,3	63	-218	78
⬇	14	56	0,35	0,35	9,0	9,0	5,9	0,5	84	-193	78

Em que:

V nom = Caudal de Cálculo

V = Volume de Fluxo

v = Velocidade do escoamento

L.R+Z = Total das perdas de carga

P out = Pressão no fim da secção

Ψ = Percentagem de água na mistura água / ar

Comparando a Tabela 26 com a Tabela 20 e a Tabela 21, concluímos que apesar de uma diferente distribuição do caudal pela rede, esta acaba por ficar sujeita a uma solicitação semelhante (27,1L/s em vez de 29,7 e 23,7 L/s). Em relação aos diâmetros das tubagens integrantes da rede recorremos aos mesmo intervalo (56 mm até 125 mm). Quanto à velocidade de escoamento, atingimos um máximo de 5,9 m/s e um mínimo de 3,3 m/s.

- Para a 2ª solução a Geberit apresentou os seguintes resultados, presentes na Figura 66 e na Figura 67.

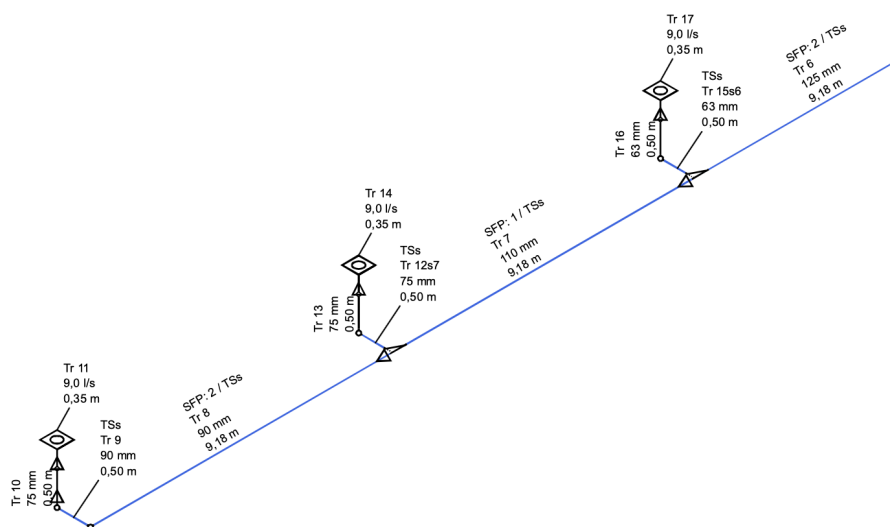


Figura 66: Isométrica Solução 2, Geberit (início da rede)

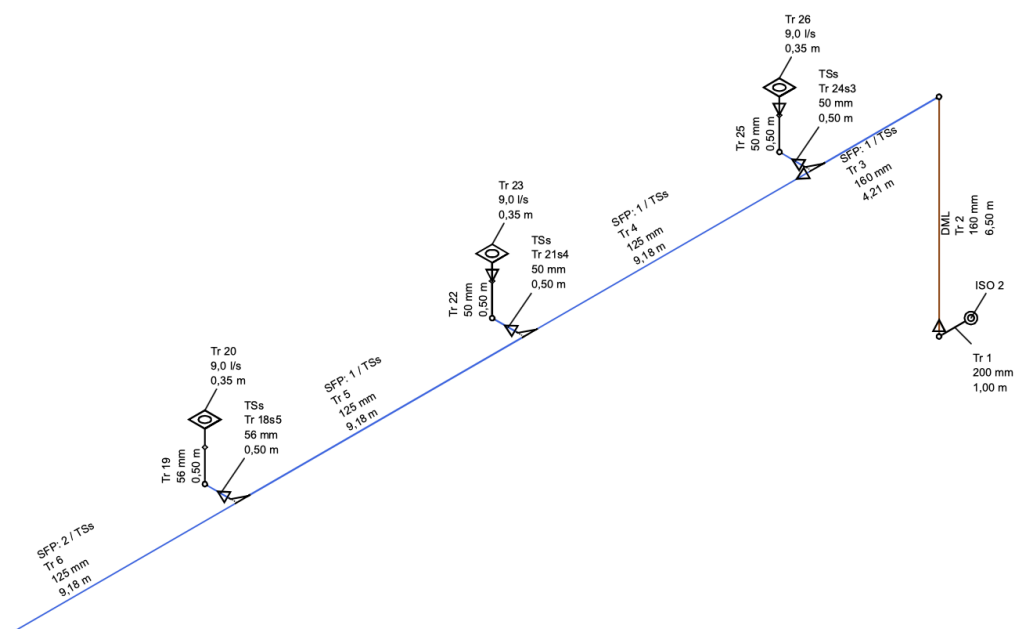


Figura 67: Isométrica Solução 2, Geberit (fim da rede)

Na Tabela 27 constam os resultados obtidos pela empresa para a solução 2.

Tabela 27: Dimensionamento Geberit, Solução 2

Tipo	Tr	d [mm]	L [m]	H [m]	$\dot{V}_{nom}$ [l/s]	$\dot{V}$ [l/s]	v [m/s]	Zeta	L·R+Z [mbar]	p out [mbar]	ψ [%]
	1	200	1,00	-	54,2	54,2	2,3	1,0	24	-0	87
↓	2	160	6,50	6,50	54,2	54,2	3,7	0,4	62	-34	87
	3	160	4,21	-	54,2	54,2	3,7	0,3	41	-524	87
	4	125	9,18	-	45,2	45,2	4,8	0,4	160	-528	90
	5	125	9,18	-	36,2	36,2	3,8	0,3	96	-330	91
	6	125	9,18	-	27,1	27,1	2,8	0,2	52	-205	93
	7	110	9,18	-	18,1	18,1	2,5	0,1	43	-144	91
	8	90	9,18	-	9,0	9,0	1,8	0,2	33	-89	93
	9	90	0,50	-	9,0	9,0	1,8	0,3	6	-56	93
	10	75	0,50	0,50	9,0	9,0	2,6	0,4	16	-67	93
⬇	11	56	0,35	0,35	9,0	9,0	5,0	0,7	96	-179	93
	12s7	75	0,50	-	9,0	9,0	2,7	0,9	35	-106	90
	13	75	0,50	0,50	9,0	9,0	2,7	0,3	14	-71	90
⬇	14	56	0,35	0,35	9,0	9,0	5,1	0,7	100	-187	90
	15s6	63	0,50	-	9,0	9,0	3,7	1,2	92	-182	95
	16	63	0,50	0,50	9,0	9,0	3,7	0,3	30	-91	95
⬇	17	56	0,35	0,35	9,0	9,0	4,8	0,6	75	-153	95
	18s5	56	0,50	-	9,0	9,0	5,2	0,8	111	-288	88
	19	56	0,50	0,50	9,0	9,0	5,2	0,3	56	-177	88
⬇	20	56	0,35	0,35	9,0	9,0	5,2	0,5	74	-164	88
	21s4	50	0,50	-	9,0	9,0	6,8	0,5	142	-468	87
	22	50	0,50	0,50	9,0	9,0	6,8	0,3	99	-326	87
⬇	23	56	0,35	0,35	9,0	9,0	5,3	0,7	95	-188	87
	24s3	50	0,50	-	9,0	9,0	8,4	0,8	247	-673	71
	25	50	0,50	0,50	9,0	9,0	8,4	0,3	120	-426	71
⬇	26	56	0,35	0,35	9,0	9,0	6,5	0,7	116	-241	71

Mais uma vez, apesar de uma distribuição diferente do caudal em cada ralo, quando comparamos a Tabela 22 com a Tabela 27, observamos que recorremos ao mesmo intervalo de diâmetros. Quanto à velocidade de escoamento atingimos um máximo de 8,4 m/s e um mínimo de 2,3 m/s.

É importante voltar a mencionar que a Geberit recorre a um software próprio, que segue algoritmos de cálculo internos, para o dimensionamento das redes sifônicas. E que, tanto o software como os algoritmos de cálculo são propriedade intelectual da empresa, deste modo, não estão disponíveis ao público. O processo de cálculo realizado pelo software da empresa conta com fatores de correção e ajuste. Isto significa que o software executa o dimensionamento interpretando a rede como um todo, ou seja, não realiza as operações de cálculo troço a troço como acontece na Schedule do Revit.

Na Tabela 27, se analisarmos o troço 25, vemos que para um caudal de 9,0 L/s e um diâmetro de 50 mm (de acordo com as tabelas referentes à linha de tubagem PEAD da Geberit, corresponde a um diâmetro interno de 44 mm) a Geberit estabelece uma velocidade de 8,4 m/s. Se aplicarmos a fórmula (21), mencionada no ponto 3.3, temos que:

$$V = \frac{Q}{S} \rightarrow V = \frac{0,009}{\frac{\pi(0,044)^2}{4}} \rightarrow V = 5,9 \text{ m / s}$$

Esta diferença entre 8,4 para 5,9 m/s, não pode ser explicada sem termos acesso ao software com que a empresa realiza os cálculos de dimensionamento. Para além da equação (21) ser muito conhecida e utilizada na hidráulica, esta mostra que os únicos parâmetros que podem afetar a velocidade com que um fluido atravessa uma secção fechada são precisamente a área dessa secção e quantidade de fluido.

Apesar disso, através da comparação entre os resultados obtidos no Revit e os resultados fornecidos pela Geberit, observamos que atingimos valores semelhantes em alguns troços. Por exemplo, no troço 6 da solução 2, no Revit obtivemos uma velocidade de escoamento de 2,85 m/s que originou uma perda de carga total de 0,56 m.c.a. A Geberit para esse mesmo troço apresenta uma velocidade de 2,8 m/s e uma perda de carga de 52 mbar = 0,52 m.c.a. O troço 7 da solução 2, é outro exemplo em que obtivemos valores muito próximos.

No troço 3, já obtivemos valores ligeiramente diferentes: no Revit temos 3,12 m/s e 0,23 m.c.a. para a velocidade e a perda de carga respetivamente, enquanto a Geberit obteve 3,7 m/s para a velocidade e 41 mbar (0,41 m.c.a) para a perda de carga. No troço mencionado anteriormente reparamos que, apesar de, existirem diferenças estas não são gravosas, no entanto, isso não se verifica em todos os troços. Como é o caso do troço 1 da Tabela 26 quando comparado com o troço 1 da Tabela 21. Na Tabela 26 o troço 1, com 125 mm de diâmetro, transporta um caudal de 27 L/s a uma velocidade de 3,3 m/s provocando uma perda de carga de 49 mbar (0,49 m.c.a.), enquanto, que na Tabela 21 o troço 1 também com 125 mm, transporta um caudal de 29,7 L/s, portanto superior, porém a uma velocidade inferior de 2,85 m/s e apenas provoca uma perda de carga de 0,056 m.c.a. Estas diferenças já são consideráveis, principalmente no que toca aos valores correspondentes à perda de carga.

O troço 26 da solução 2 foi um dos troços onde obtivemos uma das maiores disparidades no que diz respeito aos valores de velocidade e de perda de carga. Neste contamos com uma diferença de 1,4 m/s no valor da velocidade e com uma diferença de quase 1 m.c.a para a perda de carga. Os resultados para este troço, e todos os mencionados anteriormente, encontram-se apresentados na Tabela 28.

Tabela 28: Comparação de Resultados

	Parâmetro	Revit	Geberit
Troço 6 Solução 2	Caudal [L/s]	29,73	27,1
	Diâmetro [mm]	125	125
	Velocidade [m/s]	2,85	2,8
	Perda de carga [m.c.a]	0,56	0,52
Troço 7 Solução 2	Caudal [L/s]	19,7	18,1
	Diâmetro [mm]	110	110
	Velocidade [m/s]	2,44	2,5
	Perda de carga [m.c.a]	0,49	0,43
Troço 3 Solução 2	Caudal [L/s]	53,4	54,2
	Diâmetro [mm]	160	160
	Velocidade [m/s]	3,12	3,7
	Perda de carga [m.c.a]	0,227	0,41
Troço 1 Solução 1	Caudal [L/s]	29,73	27,1
	Diâmetro [mm]	125	125
	Velocidade [m/s]	2,85	3,3
	Perda de carga [m.c.a]	0,056	0,49
Troço 26 Solução 2	Caudal [L/s]	10	9
	Diâmetro [mm]	56	56
	Velocidade [m/s]	5,1	6,5
	Perda de carga [m.c.a]	0,175	1,16

Analisando a Tabela 28, deparamo-nos mais uma vez com uma situação que levanta dúvidas em relação ao processo de cálculo da velocidade pela Geberit. No troço 26, tanto o Revit como a Geberit, tiveram em consideração um diâmetro de 56 mm, no entanto o caudal utilizado para o cálculo no Revit foi de 10 L/s, superior ao utilizado pela Geberit (9 L/s). Seria de esperar que, mantendo o diâmetro, um valor de caudal superior resultasse numa velocidade de escoamento superior, contudo não foi isso que se verificou.

4.3. COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS

Para o segundo caso de estudo e com o intuito de realizar uma comparação prática entre a rede gravítica projetada inicialmente e as duas soluções propostas pela Geberit, iremos ter em consideração a Figura 30 e a Tabela 13, referentes à rede gravítica, e a Figura 65, Figura 66 e Figura 67 juntamente com a Tabela 26 e a Tabela 27 referentes às alternativas sifónicas.

Em relação à velocidade do escoamento, contamos com uma grande diferença entre os dois sistemas. A rede gravítica apenas atinge, como velocidade máxima, 2,16 m/s, enquanto as soluções 1 e 2 para a rede sifónica estão previstas atingir 5,9 m/s e 8,4 m/s, respetivamente. Esta diferença, entre as velocidades de ambas as redes, pode ser explicada porque de facto a rede gravítica faz uso de tubagens de diâmetros muito superiores quando comparados à rede sifónica, um bom exemplo, são os tubos de queda que são as tubagens que transportam o caudal total acumulado da rede. Enquanto as redes sifónicas recorrem a tubagens de 110 mm e 160 mm de diâmetro para recolher, respetivamente, 27,1 L/s e 54,2 L/s, a rede gravítica para recolher 53,44 L/s recorre a um tubo de queda com 315 mm de diâmetro.

Outra diferença, diz respeito à inclinação das tubagens. As redes sifónicas funcionam com tubagens horizontais sem necessidade de inclinação, uma vez que a água se movimenta graças às diferenças de

pressão, enquanto a rede gravítica depende da pendente mínima (1%) para garantir o escoamento. É por este motivo, e pela utilização de tubagens de diâmetros inferiores, que as soluções sifônicas permitem uma maior flexibilidade no que toca ao projeto arquitetónico e estrutural, pois a rede é facilmente integrada em espaços reduzidos.

É importante referir que, tal como foi mencionado no ponto 2.3, umas das vantagens dos sistemas sifónicos face aos sistemas tradicionais, é o facto dos sistemas sifónicos contarem com menos tubos de queda. Neste caso em particular essa vantagem não se verifica, porque a rede gravítica adotada conta apenas com um tubo de queda. Isto deve-se ao facto de a cobertura deste projeto ter uma configuração muito linear e contínua, logo foi possível alinhar os ralos e conduzir a água até um único ponto de descida, caso contrário não seria possível. Normalmente as redes gravíticas necessitam de vários tubos de queda porque o funcionamento do sistema depende das pendentes, ou seja, os tubos têm de ir descendo continuamente desde os ralos até aos pontos de descarga. Ou seja, em coberturas muito extensas e com ralos posicionados em zonas muito afastadas entre si, não seria possível levar a águas para um único ponto sem fazer descidas intermédias.

Com base na comparação para este caso de estudo em específico, foi possível confirmar todas as vantagens do sistema sifónico quando comparado ao sistema tradicional, mencionadas no ponto 2.3. Apenas não se verificou uma diminuição no número de tubos de queda das redes sifônicas face à rede tradicional, porém o motivo para tal foi mencionado no presente ponto.

4.4. ANÁLISE ECONÓMICA

Após a comparação técnica realizada no ponto 4.2. Neste ponto iremos proceder a uma análise de natureza económica, pois o custo de implementação tem um peso considerável na tomada de decisão em projetos de engenharia.

Com o intuito de avaliar a viabilidade económica dos dois sistemas de drenagem de águas pluviais, procedemos à realização do orçamento da rede gravítica com base nos dados disponíveis. Em relação ao sistema sifónico tivemos em consideração a proposta orçamental da Geberit para ambas as soluções.

4.4.1. SISTEMA TRADICIONAL

No orçamento da rede gravítica teve-se em conta os valores dos elementos que fazem parte da rede como ralos e tubagens de diferentes diâmetros, bem como a sua instalação. Além disso contabilizaram-se alguns trabalhos complementares e finais tais como os trabalhos de construção civil que apoiam a instalação da rede como furações e fixações. Por fim estimou-se o custo dos ensaios de estanquidade, que é um processo de grande importância pois com estes ensaios garantimos que não existem fugas e que a rede se encontra totalmente funcional e segura. O orçamento está apresentado na Tabela 29.

Tabela 29: Orçamento Rede Gravítica

ARTIGO	DESCRIÇÃO	UN	QT	PREÇO UNI.	PREÇO TOTAL
1	REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS				
1.1	Equipamento e acessórios				
1.1.1	Fornecimento e assentamento de ralo de cobertura, DN 100 com saída vertical, de acrodo com os pormenores da arquitetura, incluindo grelha Classe A15 e todos os trabalhos e acessórios necessários à perfeita execução da tarefa	un	6,0	350,00 €	2 100,00 €
1.2	Tubagens				
1.2.1	Fornecimento e assentamento de tubagem em PVC série B, fabricados de acrodo com as normas em vigor (EN 1329), incluindo todos os acessórios de ligação e derivação, bocas de limpeza, fixações, materiais e trabalhos necessários ao seu perfeito funcionamento, assente com os seguintes diâmetros				
	110mm	ml	1,28	5,59 €	7,16 €
	125mm	ml	25,68	6,35 €	163,07 €
	160 mm	ml	11,92	7,20 €	85,82 €
	200 mm	ml	11,15	9,16 €	102,13 €
	315 mm	ml	7,71	26,53 €	204,55 €
1.3	Trabalhos complementares				
1.3.1	Trabalhos de construção civil de apoio à execução das redes de drenagem de águas residuais, incluindo furações, abertura e fecho de roços e demais trabalhos necessários à perfeita implantação e fixação de todas as tubagens, acessórios e equipamentos	un	-	-	1 000,00 €
1.4	Trabalhos Finais				
1.4.1	Verificação, limpeza e ensaios de todas as redes de acordo com o estipulado nas normas vigentes. NOTA: OS ensaios de estanquidade da rede e a verificação da conformidade do sistema com o projeto de execução com as disposições legais em vigor deve ser feita com as canalizações e respectivos acessórios à vista	un	-	-	1 000,00 €
1.4.2	Apoio Técnico, telas finais, manual de instruções e plano de manutenção, incluindo todos os trabalhos de apoio técnico, como a execução e fornecimento de desenhos de preparação em autocad, execução e fornecimento de telas finais, apoio técnico, integração dos desenhos de preparação de todas as especialidades desta empreitada, apoio na compatibilização entre empreitadas e manual de instruções de funcionamento da instalação.	un	-	-	500,00 €
TOTAL					5 162,73 €

4.4.2. SISTEMA SIFÓNICO

Em relação às duas propostas para a rede de drenagem segundo o sistema sifónico, a Geberit apresenta os seguintes orçamentos presentes na Tabela 30 e na Tabela 31.

A Geberit não teve em conta os custos dos trabalhos de construção civil nem os custos dos ensaios de estanquidade para as suas propostas de orçamento. Porém, estes incluem uma garantia de 10 anos que vem acompanhado de visitas necessárias por técnicos especializados pela marca.

Tabela 30: Orçamento Solução 1, sifônica

ARTIGO	DESCRIÇÃO	UN	QT	PREÇO TOTAL
1.	REDE DE DRENAGEM, GEBERIT PLUVIA			
1.1	Ralos sifônicos Geberit Pluvia			
1.1.1	Ralo pluvia de 12 L/S	un	6,0	1 504,08 €
1.2	Tubagens			
1.2.1	Fornecimento e instalação de tubagem em PE 80 fabricados pela Geberit - incluindo parte proporcional de acessórios moldados e fabricados pela Geberit (Curvas, forquilha, reduções, uniões de eletrossoldadura, bandas e eletrossoldaduras, peças especiais). Incluem-se elementos de fixação segundo indicações do projeto. instalação realizada com pontos fixos para controlo da dilatação			
	PEAD 56 mm	ml	3,0	621,54 €
	PEAD 63 mm	ml	1,0	772,99 €
	PEAD 75 mm	ml	20,4	1 515,89 €
	PEAD 90 mm	ml	18,4	1 381,17 €
	PEAD 110 mm	ml	21,4	2 690,79 €
	PEAD 125 mm	ml	2,0	1 006,35 €
1.3	Trabalhos Adicionais			
1.3.1	Fornecimento e instalação de jogo de suportes laterais articulada rotativa em 180° - Apoio adicional do sistema de fixação Geberit Pluvia para o suporte adicional <u>no caso condições desfavoráveis</u> tubagem de 90 a 315 mm	un	6,0	367,47 €
Total				9 860,28 €

Tabela 31: Orçamento solução 2, sifônica

ARTIGO	DESCRIÇÃO	UN	QT	PREÇO TOTAL
1.	REDE DE DRENAGEM, GEBERIT PLUVIA			
1.1	Ralos sifônicos Geberit Pluvia			
1.1.1	Ralo pluvia de 12 L/S	un	6,0	1 504,08 €
1.2	Tubagens			
1.2.1	Fornecimento e instalação de tubagem em PE 80 fabricados pela Geberit - incluindo parte proporcional de acessórios moldados e fabricados pela Geberit (Curvas, forquilha, reduções, uniões de eletrossoldadura, bandas e eletrossoldaduras, peças especiais). Incluem-se elementos de fixação segundo indicações do projeto. instalação realizada com pontos fixos para controlo da dilatação			
	PEAD 50 mm	ml	2,0	483,40 €
	PEAD 56 mm	ml	1,0	561,95 €
	PEAD 63 mm	ml	1,0	762,86 €
	PEAD 75 mm	ml	1,5	756,68 €
	PEAD 90 mm	ml	9,7	947,52 €
	PEAD 110 mm	ml	9,2	1 368,68 €
	PEAD 125 mm	ml	27,5	2 185,17 €
	PEAD 160 mm	ml	10,7	1 716,83 €
	PEAD 200 mm	ml	1,0	987,83 €
1.3	Trabalhos Adicionais			
1.3.1	Fornecimento e instalação de jogo de suportes laterais articulada rotativa em 180° - Apoio adicional do sistema de fixação Geberit Pluvia para o suporte adicional <u>no caso condições desfavoráveis</u> tubagem de 90 a 315 mm	un	8,0	482,46 €
Total				11 757,46 €

Após a realização de uma análise comparativa entre os três orçamentos chegamos à conclusão de que a solução tradicional apresenta, sem dúvida, o menor custo, algo que pode ser justificado pela simplicidade do sistema e ausência de componentes de alta performance. Em relação, às redes sifônicas apesar da solução 2 apenas contar com 1 tubo de queda, ainda assim acaba por ser mais dispendiosa, provavelmente porque se trata de uma rede que está sujeita a uma maior solicitação, por consequência serão necessários mais elementos de fixação.

Contudo, apesar de a rede sifônica necessitar de um maior investimento inicial é importante ter em conta as vantagens técnicas que este tipo de sistema proporciona, como a otimização do traçado da rede e a possibilidade de maior liberdade arquitetónica. E ainda a garantia fornecida pela marca, pois caso seja necessário fazer algum reparo a empresa disponibiliza os seus especialistas.

Tal como a dissertação analisada no ponto 2.4, procurou-se determinar a área mínima de cobertura que justifique o aproveitamento máximo da capacidade de um ralo. Pois com base nos orçamentos apresentados na Tabela 30 e na Tabela 31, observamos que a Geberit utiliza ralos com uma capacidade máxima de 12 L/s, quando, na prática apenas estão a dar entrada 9 L/s em cada ralo. Para tal adotaram-se os dados específicos deste projeto, sendo eles: um caudal máximo de 12 L/s, coeficiente de escoamento de igual a um, uma intensidade de precipitação de 120 mm/h e um período de retorno de 10 anos na região A de Portugal. De seguida, com base na fórmula (4) obteve-se:

$$0,012 = \frac{1 \times A \times 120}{3600} \Leftrightarrow A = \frac{0,012 \times 3600}{0,12} \Leftrightarrow A = 360 \text{ m}^2$$

Desta forma, obteve-se uma área mínima a drenar de 360 m² por ralo. É importante relembrar que a Geberit para o dimensionamento de ambas as soluções sifônicas para este caso de estudo considerou que cada ralo estaria sujeito a uma área de influência de 266,67 m².

5

CONCLUSÃO

5.1. CONCLUSÕES

Através do capítulo 2 da presente dissertação foi possível constatar dois problemas existentes. Primeiro, o facto de o dimensionamento de sistemas sifónicos de drenagem de águas pluviais estar pouco explorado na bibliografia. Em segundo lugar, percebemos que o processo de recorrer à metodologia BIM para trabalhar com estas redes enfrenta alguns desafios.

No que diz respeito ao trabalho no Revit vimos que, as empresas que trabalham com redes sifónicas disponibilizam famílias BIM dos elementos hidráulicos que constituem estas redes. Porém, estas famílias necessitam de serem configuradas não só de acordo com os Templates personalizados das empresas, mas também necessitam de serem parametrizadas de forma a ser possível realizar o cálculo no Revit. Apesar disso, tal como demonstrado na presente dissertação, o processo de configuração apenas é realizado uma vez. Ou seja, apesar do processo de configuração exigir algum tempo, a longo prazo torna-se útil por otimizar todo o processo em outros projetos. Além disso, foi devido às configurações realizadas que se teve acesso a uma funcionalidade (Duct/Pipe Sizing) do Revit que permite realizar o dimensionamento automático de toda a rede, onde o utilizador apenas necessita de definir uma velocidade máxima de escoamento e/ou um para a perda de carga admissível. Com base nestes dados, o Revit de forma totalmente automática, ajusta todos os diâmetros das tubagens da rede, sendo apenas necessário que o utilizador valide e verifique os seus resultados finais nas Schedules e caso seja necessário realize alguns ajustes. Logo, o facto de as configurações realizadas concederem acesso à funcionalidade Duct/pipe Sizing e esta apresentar as vantagens mencionadas anteriormente, reforça a viabilidade de recorrer ao Revit para dimensionar este tipo de redes hidráulicas.

Durante o trabalho verificamos que os sistemas sifónicos seguem princípios hidráulicos conhecidos por todos, o que tornou possível o desenvolvimento de uma ferramenta automática de cálculo. Também verificamos que, as empresas especializadas neste ramo, desenvolvem o seu próprio sistema e o seu próprio método de cálculo. Para além disso, estas empresas produzem os seus próprios elementos (ralos, acessórios e tubagens) para integrarem nas suas redes. Desta forma, as empresas assumem a responsabilidade total, desde a modelação e dimensionamento até à instalação da rede. Contudo, as empresas apesar de não divulgarem detalhes do processo, estas oferecem garantias sobre o desempenho do seu sistema com a condição de que todas as etapas sejam executadas pelos seus especialistas.

Embora, a ferramenta de cálculo desenvolvida neste trabalho não substitua os métodos de cálculo das empresas especializadas, revela-se particularmente útil numa fase de pré-dimensionamento. Apesar de não fornecer os valores finais que serão utilizados na instalação, esta permite obter uma estimativa aproximada da realidade. Esta aproximação é especialmente relevante numa fase inicial de projeto, pois no diálogo entre os responsáveis pelas especialidades e a arquitetura. Se os responsáveis pelas

especialidades possuírem uma folha semelhante à desenvolvida, poderão transmitir à arquitetura valores muito aproximados da realidade.

Por fim, quanto à comparação entre os diferentes tipos de sistemas de drenagem de águas pluviais, concluímos que ambos se revelam bastante eficientes. Concluímos também que o sistema sifônico necessita de um maior investimento inicial pois é um sistema que devido aos seus componentes e patentes acaba por ser mais dispendioso. Por outro lado, e em concordância com o estudo apresentado no capítulo 2.4, quanto maior for a área a drenar maior é a viabilidade do sistema sifônico. Isto porque, uma cobertura com uma grande extensão vai implicar, que o sistema tradicional necessite de cada vez mais ralos e tubagens, o que faz com que o custo total do sistema tradicional seja superior ao do sistema sifônico. Além disso, com base no segundo caso de estudo verificamos que de facto o sistema sifônico utiliza tubagens de diâmetros significativamente inferiores, principalmente nos tubos de queda. Quanto à velocidade do escoamento também se verifica que o sistema sifônico opera a velocidades bastante superiores quando comparado com o sistema tradicional. Contudo, para o segundo caso de estudo em específico, não verificamos que o número, de tubos de queda necessários para as soluções sifônicas, é inferior ao número de tubos de queda necessários para a solução tradicional. Ou seja, é importante deixar claro que o grande fator que influencia a escolha entre os dois sistemas são as particularidades de cada projeto, ou seja, não é correto afirmar que um dos sistemas é superior ao outro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. M. Rattenbury, "Siphonic Roof Drainage where is it headed ?," 2005.
- [2] *Know How*, n.d.
- [3] V.-. Rainplus, "Siphonic drainage systems - Tecnical manual," 2022.
- [4] *EPAMS - solução em drenagem pluvial pressurizada - Guia Técnico*, n.d.
- [5] B. S. Institution, "BS EN 12056-3:2000 - Gravity drainage systems inside buildings - part 3: Roof drainage, layout and calculation," 2007.
- [6] P. L. I.-R. Gonzalo López-Patiño, Francisco Javier Martínez-Solano and Vicente S. Fuertes-Miquel, "Analysis of Siphonic Roof Drainage Systems with EPANET," 2023.
- [7] B. Ross, "Understanding Siphonic Drainage The Why's and How's," 2006.
- [8] S. D. Association, "A guide to Siphonic Roof Drainage," 2015.
- [9] J. P. D. D. N. Pereira, "Sistemas prediais não tradicionais de drenagem de águas residuais pluviais," 2012.
- [10] J. M. Rattenbury, "Siphonic Roof Drainage - PHD," 2020.
- [11] Sapoflow. "about us." <https://www.sapoflow.com/about> (accessed).
- [12] D. J. S.-. Geberit, "Sistemas de drenagem Geberit," 2009.
- [13] A. I. R. d. Silva, "Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Habitações Unifamiliares: Funcionamento Hidráulico de um Sistema de Drenagem Sifônica," 2014.
- [14] J. R. Smith, "Siphonic Roof Drains," 2008.
- [15] Valsir, "Technical Manual - Emergency system," 2022.
- [16] M. d. O. P. T. e. Comunicações, "Decreto Regulamentar nº 23/95," *Diário da República - I Série - B Anexo IX*, 1995.
- [17] J. H. A. C. Branco, "Redes de Drenagem de Águas Pluviais - Bacias de Retenção - Modelação de um Caso de Estudo," 2022.
- [18] B. S. Institution, "BS EN 12056-4:2000 Gravity drainage systems inside buildings - part 4: wastewater lifting plants layout and calculation," 2005.
- [19] Valsir, "Technical Manual - Siphonic Drainage Systems - Sizing," 2022.
- [20] E. C. f. Standardization, "EN 12056-2:2000 - Gravity drainage systems inside buildings part 2," 2000.
- [21] T. D. O. V. R. Freitas, Ricardo Prado Abreu, "Análise comparativa entre sistema sifónico e convencional de captação de água pluvial," 04 de Outubro 2019.
- [22] R. T. Douglas Alves, José Baptista, Ana Briga-Sá and Cristina Matos "Optimal Rainwater Harvesting System for a Commercial Building: A Case Study Focusing on Water and Energy Efficiency " 2025.
- [23] T. C. o. E. Quality, "Harvesting, Storing, and Treating Rainwater for Domestic Indoor Use," 2007.
- [24] T. J. C. V. Lopes, "Modelação BIM de redes prediais de drenagem adaptada ao processo de licenciamento de edifícios," 2020.
- [25] Autodesk. "Revit - Overview." <https://www.autodesk.com/products/revit/overview> (accessed).
- [26] Geberit. (2021) Revista do Cliente. *KNOW-HOW*.
- [27] Autodesk, "Geberit BIM PLUG-IN." [Online]. Available: https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?appLang=en&id=8302399644728313783&os=Win64&utm_source=chatgpt.com.
- [28] Geberit. "Proplanner." <https://www.geberit-global.com/sanitary-piping-systems/digital-tools/geberit-proplanner/> (accessed).
- [29] Geberit. (n.d.) BIM - Digital Planing and Building with data and software from Geberit. *KNOW HOW*.
- [30] Geberit, "Catálogo de produto," 2005.
- [31] Geberit, "Documento de Adequação Técnica," 2023.

